

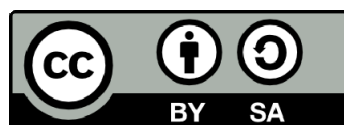


UNIVERSITAT<sub>DE</sub>  
BARCELONA

# Valoración de la agilidad reactiva en fútbol

Reactive Agility Assessment in Soccer

Mónica Morral Yepes



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- Compartitqual 4.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - Compartitqual 4.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0. Spain License.**

# VALORACIÓN DE LA AGILIDAD REACTIVA EN FÚTBOL

**inefc**  
Barcelona



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA



## REACTIVE AGILITY ASSESSMENT IN FOOTBALL

**Mónica Morral Yepes**  
Tesis doctoral 2024







UNIVERSITAT DE BARCELONA

Facultat d'Educació

---

INSTITUT NACIONAL D'EDUCACIÓ FÍSICA DE  
CATALUNYA

Centre de Barcelona

Programa de Doctorat  
Activitat Física, Educació Física i Esport

VALORACIÓN DE LA AGILIDAD REACTIVA EN FÚTBOL  
REACTIVE AGILITY ASSESSMENT IN SOCCER

Tesi doctoral presentada per:

Mónica Morral Yepes

Dirigida per:

Dr. Gerard Moras Feliu  
Dr. Oliver Gonzalo-Skok

Tutoritzada per:

Dr. Gerard Moras Feliu

Per a optar al títol de:

Doctor per la Universitat de Barcelona

Barcelona, 2024



# Índice de contenidos

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Lista de publicaciones .....                                            | 9  |
| Abreviaturas.....                                                       | 13 |
| Índice de tablas .....                                                  | 15 |
| Índice de figuras .....                                                 | 17 |
| Agradecimientos.....                                                    | 19 |
| Resumen .....                                                           | 23 |
| Abstract.....                                                           | 27 |
| Motivaciones de la autora y antecedentes de la tesis.....               | 31 |
| 1. Introducción .....                                                   | 33 |
| 1.1. La agilidad reactiva .....                                         | 39 |
| 1.1.1. Agilidad reactiva vs. velocidad en cambios de<br>dirección ..... | 39 |
| 1.1.2. Test de valoración de la agilidad reactiva .....                 | 42 |
| 1.1.3. Test de valoración de la agilidad con balón .....                | 50 |
| 1.1.4. Factores condicionantes de la agilidad reactiva .....            | 53 |
| 1.1.5. Agilidad reactiva y nivel de rendimiento .....                   | 62 |
| 1.1.6. Entrenamiento para la mejora de la agilidad reactiva.<br>.....   | 67 |
| 1.2. Variabilidad de movimiento humano .....                            | 71 |
| 1.2.1. Definición y concepto.....                                       | 72 |

|        |                                                                                     |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.2.2. | Ámbitos de aplicación de la variabilidad de movimiento.....                         | 76  |
| 1.2.3. | La valoración de la variabilidad de movimiento ....                                 | 80  |
| 1.2.4. | La entropía como herramienta para el análisis de la variabilidad de movimiento..... | 84  |
| 2.     | Objetivos e hipótesis de la tesis.....                                              | 87  |
| 2.1.   | Objetivo general de la tesis.....                                                   | 89  |
| 2.2.   | Objetivos e hipótesis de los estudios .....                                         | 89  |
| 3.     | Métodos.....                                                                        | 91  |
| 3.1.   | Esquema de la metodología.....                                                      | 94  |
| 3.2.   | Participantes .....                                                                 | 96  |
| 3.3.   | Material.....                                                                       | 96  |
| 3.4.   | Análisis de datos.....                                                              | 97  |
| 3.5.   | Análisis estadístico .....                                                          | 100 |
| 4.     | Estudios de la tesis .....                                                          | 103 |
| 4.1.   | Estudio 1 .....                                                                     | 105 |
| 4.2.   | Ensayo previo estudios 2 y 3 .....                                                  | 123 |
| 4.3.   | Estudio 2 .....                                                                     | 139 |
| 4.4.   | Estudio 3 .....                                                                     | 159 |
|        | .....                                                                               | 159 |
| 5.     | Resultados .....                                                                    | 175 |
| 6.     | Discusión común y aplicaciones prácticas .....                                      | 179 |

|      |                                                                                           |     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1. | Test de valoración de la agilidad reactiva .....                                          | 181 |
| 6.2. | Valoración de la agilidad reactiva en base al tiempo ...                                  | 183 |
| 6.3. | Valoración de la agilidad reactiva mediante la entropía.....<br>.....                     | 188 |
| 6.4. | Influencia de la inclusión de condicionantes sobre el<br>tiempo total y la entropía ..... | 192 |
| 6.5. | Agilidad reactiva vs. velocidad en cambios de dirección...<br>.....                       | 194 |
| 6.6. | Líneas de futuro .....                                                                    | 195 |
| 7.   | Conclusiones .....                                                                        | 199 |
| 8.   | Referencias .....                                                                         | 203 |



## Lista de publicaciones

La presente tesis se presenta por convenio de publicaciones y está respaldada por la publicación de tres artículos que se citan en detalle a continuación:

### ➤ **Publicación 1:**

**Título:** Assessing the Reliability and Validity of Agility Testing in Team Sports: A Systematic Review.

**Citación:** Morral-Yepes, M., Moras, G., Bishop, C., Gonzalo-Skok, O. (2020). Assessing the Reliability and Validity of Agility Testing in Team Sports: A Systematic Review. Journal of Strength and conditioning research.

**DOI:** 10.1519/JSC.0000000000003753.

### **Información de la revista:**

Journal of Strength and conditioning research

ISSN: 1064 – 8011

Categoría: Sport Sciences

Factor de impacto: 3.781

Cuartil: Q1

## ➤ **Publicación 2**

**Título:** Assessment of movement variability and time in a football reactive agility task depending on constraints.

**Citación:** Morral-Yepes, M., Gonzalo-Skok, O., Fernández-Valdés, B., Bishop, C., Tuyà, S., Moras, G. (2023). Assessment of movement variability and time in a football reactive agility task depending on constraints. Sports Biomechanics.

**DOI:** 10.1080/14763141.2023.2214533.

### **Información de la revista:**

Sports Biomechanics

ISSN: 17526116, 14763141

Categoría: Sport Sciences

Factor de impacto: 2.2

Cuartil: Q3

### ➤ **Publicación 3**

**Título:** Are change of direction speed and Agility different abilities from time and coordinative perspectives?

**Citación:** Morral-Yepes, M., Gonzalo-Skok, O., Dos Santos, T., Moras, G. (2023). Are change of direction speed and Agility different abilities from time and coordinative perspectives? Plos One.

**DOI:** 10.1371/journal.pone.0295405.

#### **Información de la revista:**

Plos One

ISSN: 1932-6203

Categoría: Multidisciplinary sciences

Factor de impacto: 3.7

Cuartil: Q1



## Abreviaturas

|               |                                                  |
|---------------|--------------------------------------------------|
| <b>AR</b>     | Agilidad reactiva                                |
| <b>VCdD</b>   | Velocidad en cambios de dirección                |
| <b>SampEn</b> | <i>Sample entropy</i> (Entropía muestral)        |
| <b>ApEn</b>   | <i>Approximate entropy</i> (Entropía aproximada) |
| <b>MSE</b>    | <i>Multiscale entropy</i> (Entropía multiescala) |



## Índice de tablas

|                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1. Valores de entropía en el test de agilidad.....                                       | 134 |
| Tabla 2. Valores de tiempo en el test de agilidad.....                                         | 135 |
| Tabla 3. Ventajas e inconvenientes del uso de diferentes tipos de estímulo .....               | 182 |
| Tabla 4. Relación entre los resultados en los test y el tipo de entrenamiento a priorizar..... | 187 |



## Índice de figuras

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Conceptos de agilidad, agilidad reactiva (AR) y velocidad en cambios de dirección (VCdD) .....                          | 35 |
| Figura 2. Factores determinantes de la VCdD.....                                                                                  | 41 |
| Figura 3. Opciones de test de AR en función del tipo de estímulo utilizado .....                                                  | 44 |
| Figura 4. SpeedCourt test .....                                                                                                   | 46 |
| Figura 5. 1 vs. 1 agility test .....                                                                                              | 48 |
| Figura 6. Modelo de los principales factores que afectan a la agilidad en deportes de invasión.....                               | 54 |
| Figura 7. Ejemplificación de los diferentes tipos de variabilidad de movimiento dentro de una acción de cambio de dirección ..... | 73 |
| Figura 8. Representación gráfica de la U-invertida en un continuum entre predecibilidad y complejidad.....                        | 80 |
| Figura 9. Series temporales con la misma magnitud pero estructura diferente .....                                                 | 83 |
| Figura 10. Esquema resumen de la metodología utilizada en los diferentes estudios de la tesis.....                                | 95 |
| Figura 11. Esquema de los programas utilizados para analizar los datos.....                                                       | 98 |

|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 12. Representación gráfica del test de AR propuesto .....                                                            | 130 |
| Figura 13. Segunda variante testada para la elección del test de<br>agilidad reactiva.....                                  | 131 |
| Figura 14. Opciones de reacción del test de AR propuesto.....                                                               | 133 |
| Figura 15. Valores promedio de entropía en el test de agilidad ...                                                          | 135 |
| Figura 16. Valores promedio de tiempo en el test de agilidad .....                                                          | 136 |
| Figura 17. Esquema de resultados de los estudios.....                                                                       | 177 |
| Figura 18. Nivel de rendimiento y dominio en la tarea en función de<br>los resultados de tiempo y entropía conseguidos..... | 191 |

## Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mis directores de tesis su ayuda durante todo este proceso, porque sin ellos no hubiera sido posible realizarla.

A Gerard Moras, por abrirme un mundo nuevo dentro de la investigación, por ayudarme a ir más allá, por contagiarme siempre su energía positiva y sus ganas de trabajar y de seguir aprendiendo cuestionando todo lo establecido. Por ser un referente para mí desde que fuera estudiante del INEFC y despertar mi pasión por el mundo del entrenamiento.

A Oliver Gonzalo, por su cercanía y su interés en colaborar conmigo desde el primer momento, por estar siempre disponible para ayudarme y por ser un referente para mí y el causante, a través de sus investigaciones, de que quisiera adentrarme en el mundo de la investigación, vinculándolo a mi trabajo como preparadora física. Por hacerlo todo más sencillo y ser capaz de ordenar y simplificar cualquier cosa que pudiera parecer en un principio demasiado compleja.

Ha sido un placer enorme poder aprender de ellos durante todo este proceso y espero poder seguir haciéndolo. Os estaré eternamente agradecida por toda vuestra ayuda y predisposición durante la elaboración de la tesis.

A todos los profesores que marcaron mi desarrollo académico y profesional, y a los que de alguna forma me han ayudado también con comentarios y consejos durante el proceso, entre ellos Joan Solé,

Josep Maria Padullés, Julio Tous, Xavi Iglesias, Marc Vives y Paco Seirul·lo. Sin ellos nunca hubiera despertado en mí esta gran pasión y motivación por hacer lo que hago. También a toda la gente con la que compartí mis años de universidad, especialmente Sandra Zaragoza, Sara Pons, Anna Vidal, Marta Martínez, Laia Serraima, Jordi Fernández, Natalia López y Miriam Rocher, que me acompañaron e hicieron de esos años una época inolvidable.

A mis compañeros y compañeras de doctorado Bruno Fernández, Carla Pérez, Silvia Tuyà y Lucas del Campo, que han estado ahí durante todo el proceso y me han ayudado y aconsejado siempre que lo he necesitado. Han sido parte clave en el desarrollo de la tesis y han colaborado siendo parte importante en alguno de los estudios publicados en ella. Especialmente a Bruno por su paciencia y colaboración en todo momento, gracias a él ha sido todo mucho más sencillo.

Al RCD Espanyol de Barcelona y a todas las personas con las que he crecido y con las que he compartido momentos allí, por abrirme las puertas del mundo profesional, por creer en mí cuando aún me estaba iniciando en el mundo del rendimiento deportivo y por permitirme desarrollar los estudios de la tesis. Especialmente, agradecer a todas las jugadoras que han participado en el proceso de toma de datos para los estudios de la tesis, poniendo ilusión y ganas y mostrando interés en hacerlo siempre lo mejor posible, sin ellas no habría sido posible.

A todos los compañeros de Tecnocampus, Sergi Garcia, Roger Font, Adrián García, Xavi Haro, Silvia Ortega, Marc Carmona, Alba Pardo, Anna Castells, Victor Illera y Jorge Castizo, entre otros, con

los que he crecido y que me han acompañado durante este camino. Especialmente agradecer a Lluís Albesa y Sara González por abrirme las puertas del mundo académico universitario, por ser mis guías y referentes, por ayudarme siempre a ser mejor y por confiar en mí más de lo que yo misma lo hago. Nunca podré agradecerles lo suficiente todo lo que han hecho y siguen haciendo por mí.

Agradecer también a todos los centros y clubes en los que he podido trabajar y desarrollarme durante el tiempo que ha durado la elaboración de la tesis, ya que han sido determinantes para que yo haya conseguido ser la persona que soy hoy. A Uesports y a toda la gente con la que coincidí allí, que fueron y siguen siendo como una segunda familia, especialmente a Oriol Alzuria, por confiar siempre en mí y adaptarlo todo para que pudiera compaginar mi trabajo allí con la tesis, la universidad, el fútbol y todo lo que me surgía, y animarme siempre a seguir creciendo en todo lo que hago. Al Levante Las Planas y al FC Barcelona y a toda la gente con la que coincidí allí durante dos temporadas increíbles que me hicieron crecer y aprender muchísimo, tanto a nivel profesional como personal. A Ultimate Móstoles por confiar en mí y permitirme vivir momentos increíbles que nunca hubiera imaginado.

Por último, a los que siempre están ahí. A mi madre, mi padre y mis hermanos, por ayudarme en todo lo que necesito, ser un ejemplo para mí de constancia y sacrificio y de hacer las cosas siempre con la máxima ilusión y alegría. Por animarme a no tirar la toalla y acabar con lo empezado haciendo las cosas lo mejor posible. Y al resto de la familia, por ser la mejor familia que podría tener.

Especial mención a mi yaya Isabel(ita), por ser ejemplo de transformación, crecimiento, adaptabilidad y tolerancia. Por aceptarme y quererme siempre tal y como soy. Por interesarse por todo lo que me interesa y por mostrarse siempre orgullosa de todo lo que hago. Por ser la mejor persona que conozco.

A mis amigas y amigos que han estado siempre a pesar de mis ausencias y me han ayudado y han sido la vía de escape para poder seguir con todo, en especial Laura Mateo, Carol Martínez, Alba Izquierdo y Jaume Serra.

A mi compañera de vida, Georgina, por ser mi máximo apoyo, mi referente y un ejemplo para mí. Por hacer de la rutina algo extraordinario. Por estar a mi lado siempre en los momentos buenos y no tan buenos, tal y como la necesito, y por hacerme tan feliz día tras día ayudándome a conseguir mis sueños.

## Resumen

La agilidad, definida como la capacidad de realizar cambios de ritmo o de dirección en respuesta a un estímulo (J. Sheppard & Young, 2006) ha demostrado ser una capacidad determinante del rendimiento en los deportes colectivos, y particularmente en el fútbol, donde durante el juego se alternan constantemente acciones que requieren de cambios constantes en los patrones de movimiento en respuesta a situaciones de juego cambiantes (Pillitteri et al., 2023; Taylor et al., 2017). En los últimos años se ha producido un aumento exponencial del número de estudios que investigan esta capacidad enfocándose en el desarrollo de test válidos y fiables para valorarla, identificar los factores que influyen en su desarrollo, determinar entrenamientos eficaces para mejorar el rendimiento en la acción y valorar su capacidad discriminatoria entre diferentes niveles de rendimiento (Ciocca et al., 2022; Nóbrega et al., 2023; Spiteri, 2023; Warren B. Young et al., 2022). Sin embargo, la mayoría de estas investigaciones se han basado en la realización de test en entornos simples y poco específicos mediante la valoración del tiempo como medida única de evaluación del test y, en todos los casos, mediante el uso de técnicas de valoración lineales. El uso de métodos no lineales como la entropía permite tener en cuenta no solo la magnitud, sino también la estructura de la señal, de forma que se presenta como una alternativa interesante para explorar la naturaleza del movimiento humano y su relación con los aspectos coordinativos de la acción (Fernández-Valdés, 2020).

Por tanto, el objetivo general de esta tesis es analizar la fiabilidad y validez de los test de valoración de agilidad existentes y proponer nuevas perspectivas y métodos para su evaluación combinando el análisis de variables de tiempo y entropía.

En el primer estudio de la tesis se realizó una revisión sistemática con el objetivo de conocer los test utilizados hasta el momento para valorar la agilidad, centrada en el análisis de su fiabilidad y validez discriminatoria. Los resultados mostraron una alta fiabilidad teniendo en cuenta el tiempo total ( $ICC = 0,79-0,99$ , a excepción de dos estudios), el tiempo de decisión ( $ICC = 0,95$ ), el tiempo de movimiento ( $ICC = 0,92$ ) y la precisión de la decisión ( $ICC = 0,74-0,93$ ). También se encontró una alta validez discriminatoria de los test, pues se observó una mayor velocidad de ejecución en jugadores de mayor nivel de rendimiento (promedio = 6,4 %, rango = 2,1-25,3 %), así como una mayor velocidad en el tiempo de decisión (promedio = 23,2 %, rango = 10,2-48,0 %, a excepción de un estudio) y mejor precisión de la decisión (promedio = 9,3 %, rango = 2,5-21,0 %). A pesar de ello, se ha constatado que la mayoría de los test realizados tuvieron lugar en entornos poco específicos y con una reacción muy simple, de forma que resulta necesario diseñar nuevos test más específicos y que consigan desafiar en mayor medida las habilidades cognitivas de los deportistas.

Con los resultados de la revisión se llevó a cabo un ensayo previo a los estudios experimentales de la tesis para desarrollar un test de agilidad específico para el fútbol tratando de incluir más complejidad en la reacción e introducir la valoración de la variabilidad de

movimiento a través de la entropía, a parte de la clásica valoración del tiempo total de ejecución en el test. Tras varias pruebas se decidió utilizar un test con 3 opciones de respuesta, en reacción al movimiento de 2 estímulos humanos. Además, se utilizó el Magnet-Based Timing System tras su validación como herramienta fiable para la medición del tiempo (Pérez-Chirinos et al., 2021), y la valoración de la entropía muestral (SampEn) a través de la señal de acelerometría extraída de un IMU situado en el centro de gravedad de la jugadora.

En el primer estudio experimental de la tesis se valoró la influencia de la inclusión de diferentes condicionantes como la reacción a un estímulo o la conducción de balón sobre las variables de tiempo (s) y entropía (SampEn) en el test de agilidad desarrollado en el ensayo previo, así como la correlación entre ambas variables. Los resultados demostraron que al incluir los condicionantes se produce una disminución de la variabilidad de movimiento (representada por una reducción de la entropía) y del rendimiento (mediante un aumento del tiempo necesario para completar la tarea). Además, se encontró una correlación negativa moderada entre ambas variables ( $r = -0,56$ ,  $p < 0.01$ ). Estos resultados demuestran una reducción de los grados de libertad del individuo para tratar de controlar toda la variabilidad generada por los condicionantes externos que influyen en el desarrollo de la acción.

En el último estudio de la tesis se analizó si la agilidad y la velocidad en cambios de dirección son capacidades diferentes en términos de tiempo y entropía; en este sentido, se encontraron diferencias

significativas entre la realización del test con y sin reacción a un estímulo en ambas variables ( $p < 0,001$ ). De esta forma, ambas capacidades han demostrado ser diferentes y, por ende, deberían valorarse y entrenarse de forma diferenciada.

En conclusión, la presente tesis demuestra la necesidad de seguir desarrollando nuevos métodos de valoración de la agilidad en entornos más complejos y específicos. Además, el análisis combinado del tiempo y la entropía supone un avance cualitativo en la valoración de la agilidad aportando información adicional sobre el nivel de maestría en la tarea y permitiendo valorar el grado de desarrollo de los aspectos coordinativos de la acción. Por último, queda patente la necesidad de desarrollar valoraciones y entrenamientos diferenciados para mejorar la velocidad en los cambios de dirección y la agilidad, puesto que han demostrado ser capacidades diferentes tanto en términos condicionales (basados en el resultado de la acción), como coordinativos (basados en la variabilidad de movimiento).

## **Abstract**

Agility, defined as the ability to make changes in pace or direction in response to a stimulus (J. Sheppard & Young, 2006), has been shown to be a determining factor in performance in team sports, and particularly in soccer, where during the game players must make numerous adjustments to their movement patterns to adapt to the evolving game situations (Pillitteri et al., 2023; Taylor et al., 2017). In recent years, there has been an exponential increase in the number of studies investigating this ability, focusing on the development of valid and reliable tests for its assessment, identifying factors influencing its development, determining effective training methods for performance improvement, and assessing its discriminatory ability among different performance levels (Ciocca et al., 2022; Nóbrega et al., 2023; Spiteri, 2023; Warren B. Young et al., 2022). However, most of these studies have been based on conducting tests in simple and nonspecific environments, assessing time as the sole measure of test evaluation, and in all cases, using linear assessment techniques. The use of nonlinear methods such as entropy allows us to consider not only the magnitude but also the structure of the signal, presenting itself as an interesting alternative to explore the nature of human movement and its relationship with the coordinative aspects of action, allowing us to assess changes in movement variability during tasks and over time (Fernández-Valdés, 2020).

Therefore, the general objective of this thesis is to analyse the reliability and validity of existing agility assessment tests and

propose new perspectives and methods for their evaluation by combining the analysis of time and entropy.

In the first study of the thesis, a systematic review was conducted to identify the tests used up to that point for agility assessment, focusing on the analysis of their reliability and discriminatory validity. The results showed high reliability considering total time (ICC = 0.79-0.99 except for two studies), decision time (ICC = 0.95), movement time (ICC = 0.92), and decision accuracy (ICC = 0.74-0.93). High discriminatory validity of the tests was also found, with higher execution speed observed in players with higher performance levels (average = 6.4%, range = 2.1-25.3%), as well as faster decision-making time (average = 23.2%, range = 10.2-48.0% except for one study) and better decision accuracy (average = 9.3%, range = 2.5-21.0%). However, it was found that most tests conducted occur in nonspecific environments with very simple reactions. Thus, the design of new, more specific tests that challenge athletes' cognitive abilities is necessary.

Based on the review results, a pilot study was conducted prior to the experimental studies of the thesis to develop a soccer-specific agility test by introducing more complexity in the reaction and incorporating the assessment of movement variability through entropy, in addition to the classic evaluation of total execution time in the test. After several trials, a test with 3 response options was chosen, reacting to the movement of two testers. Moreover, the use of the Magnet-Based Timing System was determined after its validation as a reliable tool for the measurement of the time (Pérez-Chirinos et al., 2021), and the

assessment of sample entropy (SampEn) through the accelerometer signal extracted from an IMU placed at the player's centre of gravity was introduced.

In the first experimental study of the thesis, the influence of including different conditions such as reacting to a stimulus or dribbling on time (s) and entropy (SampEn) variables in the previously developed agility test in the pilot study was evaluated, as well as the correlation between both variables. The results showed that the inclusion of constraints led to a decrease in movement variability represented by a reduction in entropy, and a decrease in performance by increasing the time needed to complete the task. Additionally, a moderate negative correlation was found between both variables ( $r = -0.56$ ,  $p < 0.01$ ). These results indicate a reduction in the individual's degrees of freedom to control all the variability generated by external constraints that influence the action development.

In the final study of the thesis, it was analysed whether agility and change of direction speed are different capacities in terms of time and entropy, with significant differences found between performing the test with and without reaction to a stimulus in both variables ( $p < 0.001$ ). Thus, both capacities are shown to be different and therefore should be assessed and trained differently.

In conclusion, this thesis highlights the need to continue developing new methods for assessing agility in more specific and complex environments. Furthermore, the combined assessment of time along with entropy represents a qualitative advancement in agility assessment, providing additional information about mastery level in

the task and allowing for the evaluation of the degree of development of coordinative aspects of action. Lastly, the necessity of developing differentiated assessments and training methods for improving change of direction speed and agility is evident, as they have been shown to be different capacities both in conditional (based on action outcome) and coordinative terms (based on movement variability).

## **Motivaciones de la autora y antecedentes de la tesis**

Para contextualizar las motivaciones para el desarrollo de esta tesis debemos remontarnos al año 2010, en el que empecé a cursar el Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte en el INEFC de Barcelona. Mi motivación inicial en el estudio de la carrera fue mi pasión por el deporte, en concreto, el fútbol. Muy perdida aún sobre hacia dónde enfocar mi camino personal y profesional, me decidí a hacer lo que me gustaba sin muchas expectativas acerca de lo que vendría después. No fue hasta el segundo curso de la carrera, cuando empecé a cursar la asignatura de Teoría del entrenamiento I con Joan Solé, que me di cuenta de que había encontrado mi gran pasión y motivación.

Como jugadora de fútbol, siempre había demostrado un buen nivel, pero a nivel condicional sentía que nunca nadie me había ayudado a desarrollar mi máximo potencial (ni siquiera una parte), cosa que me impedía llegar a un nivel más alto. Fue en ese momento cuando empecé a encontrar respuestas a preguntas que siempre me había hecho, como: ¿qué puedo hacer para ser más rápida?, ¿por qué sufro tantas lesiones?, ¿qué puedo hacer para ser más fuerte?, ¿qué puedo hacer para aguantar mejor los partidos?, ¿qué puedo hacer para reaccionar más rápido?... Y con todo esto empecé a adentrarme en el mundo del rendimiento deportivo y el entrenamiento, leyendo, investigando y poniendo a prueba todo aquello que iba aprendiendo. Y cuanto más sabía, más quería saber.

Por todo ello, al acabar la carrera quise orientar mi formación de posgrado al ámbito del rendimiento deportivo y decidí cursar el máster RETAN, que además me permitiría acceder posteriormente a los estudios de doctorado. Este máster también me permitió entrar como preparadora física en el RCD Espanyol, gracias a las prácticas que realicé allí. Ya dentro del mundo profesional, aún crecieron más mis ganas de seguir formándome y aprendiendo mediante congresos y cursos de formación continuada para poder ayudar a las jugadoras a conseguir su máximo rendimiento, minimizando el riesgo de sufrir lesiones o, como mínimo, reduciendo su gravedad. En este camino me crucé con una conferencia de Oliver Gonzalo-Skok donde hablaba de algunos de los artículos de su tesis sobre cambios de dirección y rendimiento y su aplicabilidad al entrenamiento, y fue entonces cuando, tras leer los diversos artículos y la tesis, me planteé enfocar una línea de investigación a los cambios de dirección, pero en respuesta a un estímulo, ya que es como realmente se dan los cambios de dirección durante la práctica de cualquier deporte colectivo. Con esta idea me reuní con Oliver, quien aceptó dirigir mi tesis y contactó con Gerard para que la codirigiera e hiciera de puente entre el INEFC y Oliver. Una vez iniciada la tesis, Gerard reorientó los estudios dándoles un aire nuevo e introduciendo el concepto de variabilidad de movimiento a través del análisis de la entropía durante la tarea de agilidad, de forma que la tesis sufrió una transformación hacia un estudio mucho más complejo y novedoso del concepto de agilidad y la influencia de la inclusión de diferentes condicionantes sobre la variabilidad de movimiento durante un cambio de dirección.

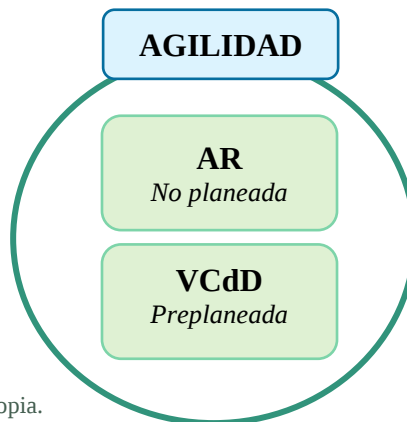
## **1. Introducción**

---



Debido a la gran importancia de la agilidad en los deportes colectivos, su estudio ha recibido una atención creciente en los últimos años (Ciocca et al., 2022; Mijatovic et al., 2022; Nóbrega et al., 2023; Spiteri, 2023; W. Young et al., 2021; Warren B. Young et al., 2022). Sin embargo, existe una falta de consenso en la definición y el uso del concepto de *agilidad*, mezclándose en la literatura estudios donde se considera la agilidad como la habilidad de cambiar de dirección rápidamente de manera precisa, coordinada y efectiva, y estudios donde el concepto de agilidad incluye la reacción a un estímulo, de forma que tienen en cuenta no solo los factores físicos, coordinativos y técnicos de la acción, sino también los cognitivos (J. Sheppard & Young, 2006). Para solventar esta dicotomía de concepto y evitar confusiones, en esta tesis se utiliza el término *velocidad en el cambio de dirección* (VCdD) en referencia a acciones preplaneadas; el término *agilidad reactiva* (AR) para referirse a situaciones de cambio de dirección en reacción a un estímulo; y el término global *agilidad* para englobarlas ambas (figura 1).

Figura 1. Conceptos de agilidad, agilidad reactiva (AR) y velocidad en cambios de dirección (VCdD)



FUENTE. Elaboración propia.

En cuanto a su relevancia, los cambios en los patrones de movimiento son una característica básica de los deportes colectivos, donde se combinan de forma aleatoria y en función de la situación de juego acciones más o menos intensas, a mayor o menor velocidad y diferentes tipos de desplazamientos (Datson et al., 2017; Taylor et al., 2017). En el caso concreto del fútbol, durante un partido se alternan acciones de aceleración, desaceleración, cambios de ritmo y de dirección, saltos, acciones de lucha y acciones con balón, que deben adaptarse a situaciones de juego cambiantes (Bloomfield et al., 2007; Bradley et al., 2013; Smith & Chamberlin, 2011). Concretamente, se han reportado entre 1379 y 1459 cambios de actividad motriz durante un partido, lo que supone un cambio de patrón de movimiento cada 4-4,5 s (Taylor et al., 2017). En relación a los cambios de dirección en particular, durante un partido de fútbol se realizan alrededor de 300 cambios de dirección en ángulos inferiores a 90°, entre 45 y 49 cambios de dirección en ángulos de entre 90° y 180°, entre 2 y 3 cambios de dirección de entre 180° y 270° y 1 de entre 270° y 360° (Bloomfield et al., 2007). Por otra parte, se calcula que se dan aproximadamente 17 cambios de dirección en ángulos mayores a 30° por minuto (Pillitteri et al., 2023).

Probablemente debido a la alta frecuencia de esta acción en las situaciones de juego competitivas en los deportes colectivos (Pillitteri et al., 2023; Taylor et al., 2017), son muchos los estudios que han comprobado una mayor velocidad y eficacia en el resultado en los test de agilidad en jugadores de nivel competitivo superior (Altmann et al., 2019; Krolo et al., 2020; Kutlu et al., 2017), demostrando así que se trata de una capacidad clave en el rendimiento. Al ser muchos

menos los estudios orientados específicamente a su investigación en fútbol, se decidió que, para lograr un enfoque más completo y holístico de la agilidad, durante el marco teórico de la tesis y la revisión sistemática que la compone, se incluirían también estudios realizados en otros deportes como los de invasión, de adversario u otros deportes colectivos.

En este contexto, se abordó el estudio de la agilidad desde diferentes perspectivas, entre las que destacan la valoración de la acción, los factores que influyen en su desarrollo, los entrenamientos destinados a la mejora del rendimiento en la acción y su capacidad discriminatoria entre diferentes niveles de rendimiento (Altmann et al., 2019; Hojka et al., 2016; Morral et al., 2020).

En concreto, los estudios dedicados a valorar la agilidad se realizaron desde dos perspectivas, una primera centrada en el estudio directo de esas acciones durante la práctica deportiva, determinando las características y demandas de la acción dentro de situaciones competitivas o de entrenamiento (Bloomfield et al., 2007; Caldbeck & Dos'Santos, 2022; Dos'Santos et al., 2022; Pillitteri et al., 2023), y una segunda mediante el estudio de la acción a través del desarrollo de diferentes test para su valoración (Beato et al., 2023; Datson et al., 2014; Lockie et al., 2014; Salaj & Markovic, 2011).

En relación a los test utilizados para valorar la agilidad, la mayoría se han basado tradicionalmente en el estudio de la VCdD (Mujika et al., 2009; Reilly et al., 2000; Vescovi et al., 2011) y son menos los estudios que han investigado la AR considerando la reacción a un estímulo para su evaluación (Altmann et al., 2019; J. Sheppard &

Young, 2006). No obstante, el interés y estudio de la AR ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, debido a que los cambios de dirección realizados durante la práctica deportiva deben ajustarse constantemente a estímulos específicos en función de la situación de juego, erigiéndose como una capacidad clave del rendimiento en los deportes colectivos (W. Young et al., 2021). Sin embargo, los test utilizados para valorarla se llevan a cabo en entornos cerrados con pocas posibilidades de respuesta y en respuesta a estímulos inespecíficos. Además, la mayoría de los estudios se han centrado en medir únicamente variables de resultado del test, como el tiempo total necesario para realizar la acción, sin tener en cuenta los aspectos coordinativos y/o cognitivos involucrados, ni incluir variables de proceso en la evaluación que puedan ayudar a explicar de forma cualitativa los aspectos relativos a la ejecución de la acción.

Por lo tanto, se hace necesario explorar y desarrollar nuevas metodologías de evaluación que abarquen de manera más holística la agilidad en diferentes contextos y condiciones, con el fin de obtener una comprensión más completa y precisa de esta habilidad fundamental para el rendimiento deportivo. Esta tesis pretende llenar ese vacío al proponer un test específico para valorar la agilidad en el fútbol. Este test combina la evaluación del rendimiento en la acción a través de la medición del tiempo total necesario para realizar la tarea y la inclusión del análisis de la variabilidad de movimiento de la señal de acelerometría, empleando la entropía como medida no lineal.

A continuación se desarrolla el marco teórico, estructurado en dos apartados principales. El primero de ellos se centra en el desarrollo del concepto de *agilidad*, poniendo especial énfasis en la AR como capacidad básica objeto de estudio de esta tesis. El segundo apartado se dedica a explicar y desarrollar el concepto de *variabilidad de movimiento*, profundizando sobre el uso de medidas no lineales para valorar el rendimiento.

### **1.1. *La agilidad reactiva***

La AR ha demostrado ser una capacidad altamente determinante del rendimiento en los deportes colectivos, donde se realizan múltiples acciones que requieren de cambios constantes en los patrones de movimiento en acciones deportivas como pueden ser un cambio de ritmo para dejar atrás a un rival, el marcaje de un jugador del equipo contrario, un cambio de dirección para superar a un adversario o una finta para recibir un pase. Por esta razón en los últimos años la investigación orientada a valorar y analizar esta capacidad ha aumentado y se dedican cada vez más estudios a validar nuevos test, diseñar entrenamientos para mejorarla y determinar los factores que la condicionan.

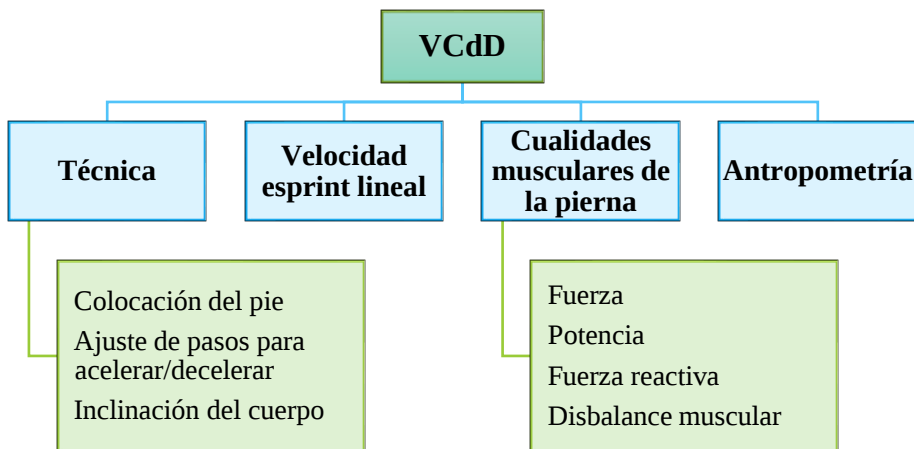
#### **1.1.1. *Agilidad reactiva vs. velocidad en cambios de dirección***

Tradicionalmente, la agilidad se ha definido como la capacidad de cambiar rápidamente de dirección en una acción que implica la habilidad de acelerar y desacelerar para reacelerar en una nueva dirección (L. E. Brown & Ferrigno, 2005). Sin embargo, algunos autores han ampliado esta definición para incluir no solo los

movimientos preplaneados, sino también aquellos realizados en respuesta a un estímulo externo (J. Sheppard & Young, 2006). Con el fin de diferenciar estos conceptos, durante esta tesis se entiende que la VCdD se refiere a la capacidad de realizar movimientos rápidos de aceleración, desaceleración y reaceleración hacia una nueva dirección con conocimiento previo del patrón de movimiento a realizar, y que la AR es la capacidad de cambiar de ritmo o de dirección rápidamente en respuesta a un estímulo (W. Young et al., 2021).

Muchos estudios han determinado la naturaleza multifactorial del rendimiento en agilidad, refiriéndose a la VCdD, y estableciendo que esta viene determinada por factores técnicos tales como la colocación del pie para el cambio de dirección, el ajuste de pasos para acelerar o desacelerar, y la inclinación del cuerpo para el cambio de dirección; por la velocidad de desplazamiento lineal; por factores referentes a las cualidades musculares de la pierna como la fuerza reactiva, la fuerza concéntrica, la potencia y las asimetrías; y por factores antropométricos como el peso y la composición corporal (figura 2).

Figura 2. Factores determinantes de la VCdD



FUENTE. Modificado de Hojka et al. (2016).

En el caso de la AR, al implicar la respuesta a un estímulo externo para la ejecución de la acción, esta incluye también la influencia de factores cognitivos y de toma de decisión como son el escaneo visual, el reconocimiento de situaciones y patrones y la anticipación (Hojka et al., 2016).

Debido a la importancia de los factores cognitivos en el rendimiento en AR, múltiples estudios han encontrado que esta es una capacidad diferente a la VCdD. En la mayoría de estos estudios se ha observado una baja correlación entre el resultado conseguido en el test realizado en respuesta a un estímulo externo y el realizado con conocimiento previo del patrón de movimiento a realizar (Chaalali et al., 2016; Ciocca et al., 2022; Čoh et al., 2018; Fiorilli, Iuliano, et al., 2017; T. J. Gabbett et al., 2008; Lockie et al., 2014; Matlák et al., 2016; Morland et al., 2013; Pojskic et al., 2018; Rauter et al., 2018; Sattler

et al., 2015; A. T. Scanlan et al., 2014; Sekulic et al., 2017; Simonek et al., 2016). Estos hallazgos sugieren la necesidad de realizar valoraciones y entrenamientos diferenciados con el objetivo de conseguir optimizar las mejoras en ambas capacidades, que han demostrado ser determinantes en el rendimiento de los deportes colectivos. En ambos casos, numerosos estudios encuentran mayores niveles de rendimiento en el test, determinados por una reducción significativa del tiempo de ejecución, en deportistas de nivel competitivo superior tanto en la valoración de la VCdD (Andrašić et al., 2021; Fiorilli, Mitrotasios, et al., 2017; Salaj & Markovic, 2011) como en la valoración de la AR (Bekris et al., 2018; Mijatovic et al., 2022; Pojskic et al., 2018; Trajković et al., 2020).

### ***1.1.2. Test de valoración de la agilidad reactiva***

Hasta el momento se han empleado diferentes test para valorar la AR, la mayoría de ellos basados en una organización espacial en forma de Y. Estas pruebas han utilizado diferentes tipos de estímulos, desde luz (Bekris et al., 2018; Čoh et al., 2018; Düking et al., 2016; Pojskic et al., 2018; Sattler & Šajber, 2015; Sekulic et al., 2017) hasta imágenes de vídeo en tiempo real (Bullock et al., 2012; Farrow et al., 2005; T. Gabbett et al., 2007; G. Henry et al., 2012) o el movimiento de un evaluador (Chaalali et al., 2016; Drake et al., 2017; Holding et al., 2017; A. T. Scanlan et al., 2015; Trecroci et al., 2016, 2018), y en la mayoría de ellos se han encontrado altos niveles de fiabilidad en el test-retest. Con los años también se han desarrollado test más complejos, con mayor número de cambios de dirección y más específicos a las demandas deportivas, como el SpeedCourt (Büchel

et al., 2022; Düking et al., 2016; Matlák et al., 2016) o situaciones reales de 1 vs. 1 (Drake et al., 2017; Holding et al., 2017; Warren B. Young & Murray, 2017).

En todos los casos la valoración de los resultados de los test se ha realizado en base al análisis del tiempo de ejecución, incluyendo en algunos casos también el análisis del tiempo de decisión, referido al tiempo transcurrido entre la aparición del estímulo y el inicio del movimiento del deportista en la dirección correcta; el tiempo de movimiento, referido al tiempo necesario para realizar la acción después de haber reaccionado al estímulo, que abarca desde el inicio del movimiento en la dirección deseada hasta el final de la acción; y la precisión de la decisión, referida al porcentaje de elecciones correctas de la salida a realizar en función del estímulo.

A pesar de la existencia de diferentes test de AR, no hay consenso en la utilización de un único protocolo de valoración, por ello se proporciona a continuación un resumen de los protocolos más utilizados habitualmente.

### ➤ ***Test de valoración***

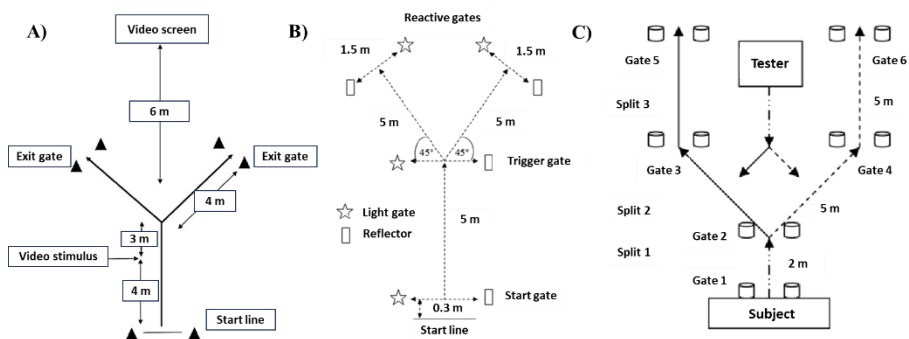
- ***Test en Y***

El test en forma de Y es uno de los más utilizados en la literatura científica para valorar la AR (Morrall et al., 2020; Paul et al., 2015). Aunque no existe un formato estándar para su realización, generalmente consta de una distancia de entre 7 m y 12 m. El test consiste en un primer tramo recto hasta el punto central del recorrido, donde se desencadena un estímulo que indica al participante el

cambio de dirección a realizar. El ángulo de giro estipulado suele ser de  $\sim 45^\circ$  y/o  $\sim 90^\circ$  en dos posibles direcciones, hacia la derecha o hacia la izquierda, en función de lo que determine el estímulo (Chaalali et al., 2016; Green et al., 2011; G. Henry et al., 2011; Lockie et al., 2014; Meir et al., 2014; A. T. Scanlan et al., 2015; Trecroci et al., 2018). Los estímulos utilizados más habitualmente son los luminosos, aunque también han sido ampliamente utilizados los estímulos en vídeo o el movimiento de un colaborador (figura 3).

Este test ha sido aplicado en diferentes deportes (fútbol, baloncesto, balonmano, rugby, fútbol australiano, *netball*, hockey, tenis...) y en todos ellos se ha encontrado una fiabilidad alta o muy alta (ICC = 0,70-0,99, CV= 1,4 %-6,1 %).

Figura 3. Opciones de test de AR en función del tipo de estímulo utilizado



NOTA: a) test Y en reacción a vídeo (Inglis, Bird, 2016); b) reacción a luz (Lockie, Jeffries, McGann, Schultz, 2014); c) reacción a humano (Veale, Pearce, Carlson, 2010). FUENTE. Elaboración propia.

- SpeedCourt

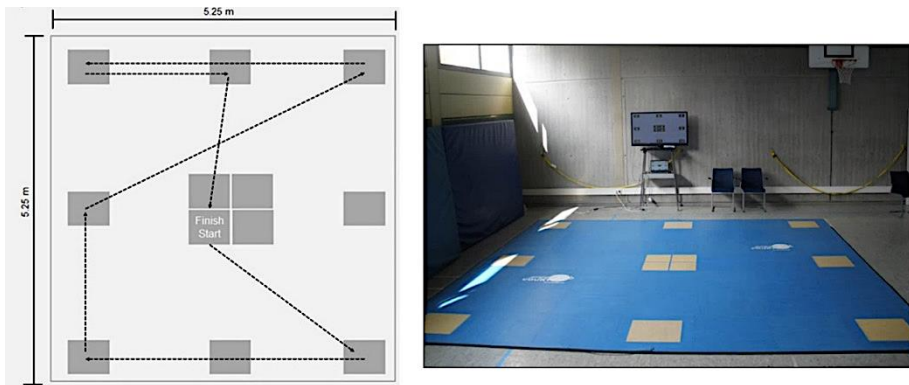
El SpeedCourt es un test diseñado para tratar de conseguir entornos más complejos, con un mayor número de cambios de dirección en

diferentes ángulos y en reacción a un mayor número de estímulos. Consiste en una plataforma cuadrada de  $5,25 \times 5,25$  m (Düking et al., 2016) o  $6,50 \times 6,50$  m (Büchel et al., 2022) compuesta por nueve cuadrados de  $0,50 \times 0,50$  m, ubicados de forma que haya 3 cuadrados en cada uno de los cuatro laterales del espacio, y uno en el centro (figura 4). Enfrente de la plataforma se ubica una pantalla que muestra los estímulos a los que el jugador debe responder. El jugador observa cómo se ilumina el color de la plataforma a la que debe dirigirse; tras contactar con la plataforma en cuestión, se iluminará la siguiente plataforma. El objetivo de la prueba es realizar un número determinado de cambios de dirección en el menor tiempo posible.

En estudios previos el número de cambios de dirección ha variado entre 8 y 43, aunque lo más común es que fueran entre 8 y 12, en ángulos que iban de  $45^\circ$  a  $180^\circ$  (Born et al., 2016; Büchel et al., 2022; Düking et al., 2016). Al representar un escenario más complejo y requerir un mayor número de acciones a realizar de forma reactiva, la fiabilidad de este test es algo menor que la de los test en forma de Y (ICC = 0,65-0,79, CV = 2,4 %-2,7 %), aunque sigue representando una alta fiabilidad que garantiza su reproducibilidad.

El test ha sido utilizado principalmente en el fútbol (Born et al., 2016; Büchel et al., 2022) y el balonmano (Düking et al., 2016).

Figura 4. SpeedCourt test



FUENTE. Extraída de Duking, Born y Sperlich (2016).

- 1 vs. 1

Los test de 1 vs. 1 aparecieron con el propósito de crear entornos más complejos y específicos al deporte. Estos test evalúan la AR a partir de situaciones reales de juego (W. Young et al., 2021). En ellos el objetivo del defensor es evitar el avance del atacante, mientras que el objetivo del atacante es eludir la acción defensiva. No se ha desarrollado un único test específico, sino que cada estudio ha creado una versión diferente del mismo.

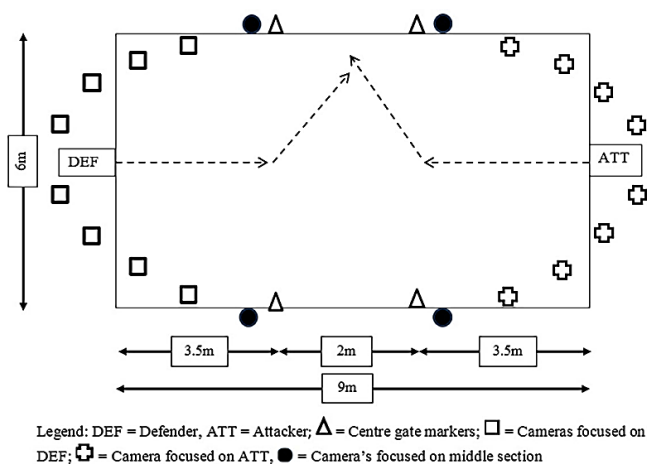
Las dimensiones del terreno de juego en el que se ha llevado a cabo el test de agilidad varían desde los  $9 \times 6$  m a los  $15 \times 15$  m y la evaluación del rendimiento en la acción se ha realizado principalmente desde dos perspectivas. La primera de ellas se basa en el análisis observacional de la acción, otorgando una puntuación determinada en función del resultado de la acción defensiva y/o ofensiva (Drake et al., 2017; Warren B. Young & Murray, 2017). La segunda se basa en el tiempo de reacción del jugador defensivo,

registrando la acción en vídeo de alta velocidad para el posterior análisis del tiempo transcurrido entre el movimiento del pie que indica la dirección del cambio de dirección del jugador atacante y el movimiento del pie del defensor en la dirección correspondiente al cambio de dirección del atacante (Holding et al., 2014, 2017).

El test realizado a partir del análisis observacional en directo del resultado de la acción ha demostrado una mayor fiabilidad y reproducibilidad ( $ICC = 0,82-0,92$ ,  $CV = 2,5 \%-2,7 \%$ ) que el test basado en la grabación en vídeo y el análisis del tiempo de reacción ( $ICC = 0,64$ ,  $CV = 16 \%-19,9 \%$ ). En ambos casos el test se inicia con los jugadores dispuestos el uno frente al otro en las líneas de fondo del terreno marcado. Sin embargo, en los test valorados mediante análisis observacional, el objetivo del atacante es cruzar la línea de fondo donde inicia la acción el defensor, mientras que en los test de análisis del tiempo de reacción el objetivo del atacante es salir lo más rápidamente posible por una de las dos líneas laterales ubicadas en el centro del terreno delimitado para la realización del test, y el defensor debe reaccionar lo más rápidamente posible a la acción del atacante (figura 5).

Hasta la fecha, según nuestro conocimiento, el test únicamente ha sido aplicado en el contexto de deportes de evasión como el rugby (Drake et al., 2017; Holding et al., 2014, 2017) y el fútbol australiano (Warren B. Young & Murray, 2017). Sin embargo, sería interesante ampliar su aplicación a otros deportes.

Figura 5. 1 vs. 1 agility test



FUENTE. Extraída de Holding, Meir, & Zhou (2017).

### ➤ *Tipo de estímulo utilizado*

En relación al tipo de estímulo utilizado, el más común es el estímulo luminoso. En los test que utilizan este estímulo, cuando la persona sometida a la prueba pasa por un punto determinado del test, se activa una luz que indica la dirección en la que debe correr. Este tipo de estímulo tiene la ventaja de ser el más fiable y reproducible debido a que el momento de aparición del estímulo es muy exacto porque está programado y preestablecido (Morrall et al., 2020; Paul et al., 2015). Sin embargo, ningún deporte colectivo requiere la reacción a estímulos luminosos, de forma que, a pesar de que su fiabilidad y reproducibilidad son mayores que las del resto de estímulos utilizados (ICC = 0,79-0,91, CV = 2,4 %-7 %, comparado con el estímulo en vídeo: ICC = 0,10-0,83, CV = 1,4 %-3,4 %; y con el humano ICC = 0,64-0,99, CV = 1,9 %-19,9 %), su validez ecológica es menor, ya que la capacidad para reaccionar a estímulos luminosos

parece tener una transferencia limitada a situaciones de juego real (W. Young et al., 2021).

En cuanto a los vídeos, aunque se han utilizado con menos frecuencia, también han demostrado en general una alta fiabilidad y reproducibilidad ( $ICC = 0,81-0,83$ ,  $CV = 1,4 \%-3,4 \%$ ) en estudios previos (Bullock et al., 2012; Serpell et al., 2010; Spiteri, Hart, et al., 2014), a excepción del de Young et al. (2011), que encontró un ICC de  $0,33-0,10$ .

En este caso, la reacción se desencadena con la aparición de una imagen en vídeo, que suele representar el movimiento de otro jugador o una situación de juego simplificada, lo que proporciona un estímulo más específico del juego que el uso del estímulo luminoso. Sin embargo, tiene la desventaja de presentar el estímulo en 2D, lo que implica una pérdida de información sobre el movimiento que sí se obtendría en una situación de juego real (Morral et al., 2020).

Finalmente, el uso del estímulo humano se considera la opción más válida a nivel ecológico, ya que se asemeja en mayor medida al tipo de estímulo que se da en competición y permite a los jugadores obtener pistas cinemáticas sobre aspectos como la posición corporal y la postura o movimiento del evaluador/jugador que actúa como estímulo, lo cual los ayuda a anticipar respuestas y tomar decisiones más rápidas en cuanto a la dirección de salida. Aunque numerosos estudios previos han demostrado su alta fiabilidad y reproducibilidad ( $ICC = 0,64-0,99$ ,  $CV = 1,9 \%-19,9 \%$ ), es importante destacar que existe una mayor variabilidad en el tiempo de presentación del estímulo debido a la dependencia de la reacción del evaluador para

iniciar el movimiento previo a la decisión del jugador evaluado (Chaalali et al., 2016; Drake et al., 2017; Holding et al., 2017; A. Scanlan et al., 2013; Trajković et al., 2020; Trecroci et al., 2018). No obstante, debido a su especificidad y mayor accesibilidad, este tipo de estímulo es considerado la mejor opción para valorar la AR.

Es necesario seguir buscando pruebas de valoración más complejas y específicas que desafíen en mayor medida las capacidades perceptivas y de toma de decisión de los deportistas. Además, es necesario ampliar el conocimiento y estudio de la agilidad mediante los tiempos de ejecución de la acción y a través de variables que ayuden a entender los aspectos relacionados con su ejecución.

### ***1.1.3. Test de valoración de la agilidad con balón***

Existen pocos estudios que incorporen un condicionante coordinativo específico del deporte como el manejo del balón durante la realización de un test de agilidad. Una de las características comunes de estas investigaciones es la incorporación del balón en tareas específicas de VCdD sin reacción a un estímulo. En este caso, los jugadores deben realizar un circuito con cambios de dirección preestablecidos mientras controlan el balón con la mano, con el pie o con un implemento en función del deporte. La mayoría de estos test se crearon específicamente para valorar esta capacidad basándose en la realización de acciones de zigzag a máxima velocidad mientras se mantiene el control del balón (Bekris et al., 2018; Chaalali et al., 2016; Conte et al., 2020; Lemmink et al., 2004; Ramirez-Campillo et al., 2019; A. T. Scanlan et al., 2018; Wilson et al., 2019), y cada uno utiliza distancias, número de cambios de dirección y ángulos de giro

distintos. Otros estudios han valorado la capacidad de manejo del balón en test de cambios de dirección previamente descritos, como el Illinois Agility Test (Makhlouf et al., 2022) o el «L-Run» (Meir et al., 2014). Todos estos test han demostrado una alta o muy alta fiabilidad y reproducibilidad ( $ICC = 0,70-0,99$ ,  $CV = 1,2\ %-3,3\ \%$ ). Además, han diferenciado entre diferentes niveles de rendimiento, encontrando menores tiempos de ejecución en jugadores de categorías superiores (Bekris et al., 2018; Conte et al., 2020; Makhlouf et al., 2022). Algunos de estos estudios han introducido el concepto de *dribbling deficit*, definido como la diferencia en el rendimiento en un test de VCdD con o sin balón (Conte et al., 2020; Jòdar-Portas et al., 2023; Ramirez-Campillo et al., 2019; A. T. Scanlan et al., 2018), y han demostrado que se trata de un índice capaz de diferenciar entre niveles de rendimiento (Conte et al., 2020). Este concepto se ha estudiado principalmente en baloncesto, donde también se han percibido diferencias entre la realización del test con la mano dominante o la no dominante (Conte et al., 2020; Ramirez-Campillo et al., 2019). En este sentido, una menor diferencia entre el tiempo necesario para realizar la acción con y sin balón sugiere un mayor control de la acción y una mejor coordinación específica.

Aunque menos frecuentes, también se han realizado investigaciones para estudiar la influencia de la inclusión del balón en tareas de AR. En estos casos, los test se han propuesto para medir la velocidad en un desplazamiento con cambio de dirección en reacción a un estímulo mientras se mantiene el control del balón. Muchas de estas propuestas utilizan los típicos test en Y, donde los participantes deben realizar el recorrido a máxima velocidad y, al llegar al punto central, cambiar

de dirección sin perder el control del balón para dirigirse a la dirección final indicada por el estímulo (Chaalali et al., 2016; Meir et al., 2014; Spiteri, Nimphius, et al., 2014). Todos ellos han demostrado una alta o muy alta fiabilidad y reproducibilidad (ICC = 0,87-0,92, CV = 2,0 %-5,3 %). En el caso de Spiteri et al. (2014) se incluyó en la prueba un segundo cambio de dirección reactivo tras el tramo en Y, y se encontró una baja correlación entre los resultados conseguidos en dicho test y los resultados del Test 505 ( $r = 0,27$ ) y del T-test ( $r = 0,28$ ) (Spiteri, Nimphius, et al., 2014). Además de estos, también se han realizado test en forma de cruz, con cuatro direcciones situadas delante, detrás, a derecha y a izquierda (Bekris et al., 2018; Nóbrega et al., 2023). En ellos el jugador comienza en el punto central y realiza carreras con el balón hacia los objetivos indicados por el estímulo durante 6-8 carreras, volviendo siempre al punto central de la prueba. Estas valoraciones también han demostrado una muy alta fiabilidad (ICC = 0,90-0,97) y ser capaces de distinguir entre diferentes niveles de rendimiento, encontrando que los jugadores de fútbol de más edad alcanzaron un rendimiento superior en comparación con los de categorías de edades inferiores (U16 > U14 > U12 > U10). De esta forma, los jugadores de cada categoría logran una mayor velocidad de ejecución en la prueba en comparación con las categorías inferiores sucesivas (Bekris et al., 2018).

Por último, es importante destacar que todos los estudios mencionados han investigado el rendimiento en los test realizados mediante la medición del tiempo empleado para completarla. Sin embargo, no se ha estudiado la exigencia coordinativa que supone la

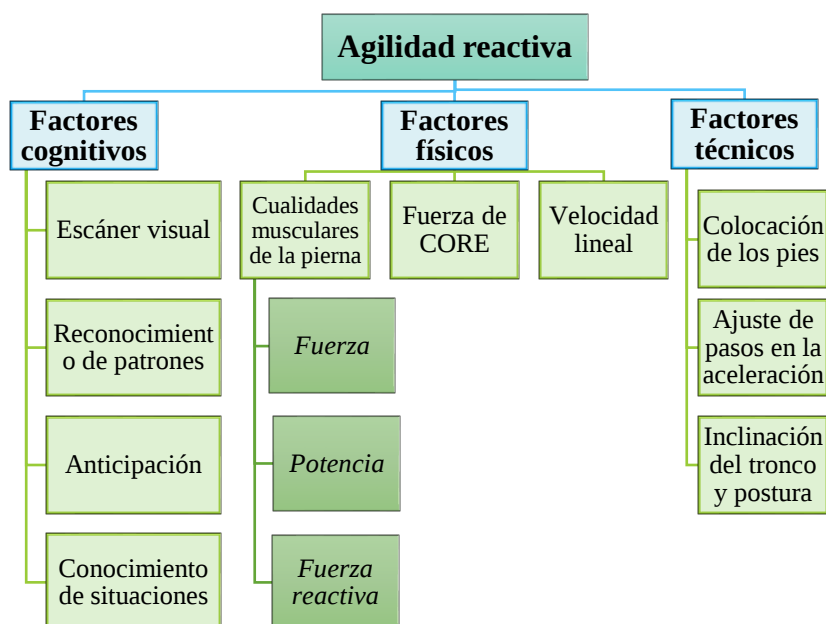
ejecución de dicha acción. La evaluación del tiempo empleado en realizar la prueba como único indicador del rendimiento puede limitar nuestra comprensión de los aspectos coordinativos involucrados en el cambio de dirección realizado con balón. Por ello es relevante obtener también valoraciones referentes a la ejecución de la acción y a la influencia de la inclusión de diferentes condicionantes sobre la misma.

#### ***1.1.4. Factores condicionantes de la agilidad reactiva***

Se han realizado algunos estudios con el objetivo de conocer los factores que determinan la AR. En la figura 6 se reproduce esquemáticamente un modelo basado en los deportes de invasión donde se desglosan los factores que determinan la AR (Warren B. Young, Dawson, et al., 2015).

En este modelo se desglosa la AR en tres grandes categorías: 1) factores cognitivos, a su vez desglosados en capacidad de escaneo visual, reconocimiento de patrones, anticipación y conocimiento de situaciones; 2) factores físicos, desglosados en cualidades musculares de la pierna (fuerza, potencia y fuerza reactiva), fuerza de CORE y velocidad lineal; y, por último, 3) factores técnicos, que engloban el posicionamiento de los pies, el ajuste de los pasos durante la aceleración y los ajustes posturales e inclinación del tronco durante el movimiento.

Figura 6. Modelo de los principales factores que afectan a la agilidad en deportes de invasión



FUENTE. Young et al. (2015).

### ➤ **Factores cognitivos**

Los factores cognitivos comprenden una serie de aspectos mentales y procesos neurales que desempeñan un papel fundamental en la capacidad de los individuos para responder rápidamente y con precisión ante situaciones cambiantes (Dalecki et al., 2019). Durante la ejecución de la práctica deportiva el deportista se encuentra con numerosas situaciones de juego donde debe ser capaz de buscar información sobre la situación de forma efectiva, dirigir su atención hacia la información relevante del entorno y coordinar y ejecutar movimientos precisos para reaccionar con éxito ante la situación

demandada (Spiteri, 2023). La inclusión de un estímulo que determina la acción a realizar en las tareas de AR trata de implicar ese proceso de percepción, procesamiento de la información y ejecución de la respuesta deseada dentro de una tarea de cambio de dirección. Sin embargo, los tipos de test utilizados habitualmente para valorar la AR exigen un proceso de toma de decisión muy simple, donde únicamente se realiza una reacción a un estímulo que determina una única opción de respuesta, seleccionada por descarte a través de la situación determinada por el estímulo (Dawes & Sheppard, 2017). Dentro de los factores cognitivos que afectan a la AR y que se consideran relevantes para su rendimiento encontramos: el escaneo visual, entendido como la habilidad para procesar la información visual durante la práctica deportiva; la anticipación, referida a la predicción de un evento en el juego que influencia los movimientos del jugador; el reconocimiento de patrones, definido como la habilidad de reconocer patrones de juego del equipo o jugador rival; y el conocimiento de situaciones, referido al conocimiento del posible movimiento de otros jugadores basado en la experiencia previa en el juego (W. B. Young et al., 2002).

De entre todos los factores que determinan el rendimiento en la AR descritos en la figura 6, múltiples estudios han concluido que los factores cognitivos son los más determinantes del rendimiento (T. J. Gabbett et al., 2008; G. J. Henry et al., 2013, 2016; Matlák et al., 2016; Naylor & Greig, 2015; A. Scanlan et al., 2013; J. M. Sheppard et al., 2006; Spiteri, Nimphius, et al., 2014), encontrando correlaciones bajas y no significativas entre test de saltos, de cambios de dirección, de velocidad, características morfológicas y

antropométricas y valoraciones de fuerza con el rendimiento en el test de agilidad. En estos casos, las correlaciones más altas se han encontrado entre el tiempo de decisión (desde que aparece el estímulo hasta que se inicia la respuesta) y la precisión de la decisión, mostrando en la mayoría de los casos que los deportistas con tiempos de reacción más bajos y con mejores porcentajes en precisión de la decisión conseguían un mejor resultado en el test de agilidad (T. J. Gabbett et al., 2008; G. Henry et al., 2012; G. J. Henry et al., 2013, 2016; A. Scanlan et al., 2013; Spiteri et al., 2015).

Otros estudios han comparado el rendimiento conseguido en el test de AR con el rendimiento conseguido en el mismo test quitando la respuesta a un estímulo externo, es decir, con conocimiento previo del cambio de dirección a realizar, y han encontrado correlaciones muy bajas entre ambos test, poniendo en evidencia la gran influencia sobre el test de agilidad que tienen los procesos perceptivos y la toma de decisión previa a la acción, siendo esta más importante que la simple acción motora (Čoh et al., 2018; Matlák et al., 2016; A. Scanlan et al., 2013; J. M. Sheppard et al., 2006).

Con la intención de valorar la influencia de los factores cognitivos en el resultado del test de agilidad, Naylor & Greig (2015) incluyeron la valoración de los aspectos cognitivos mediante la inclusión del *Stroop Word-colour test*, junto con la valoración de otros aspectos como la velocidad lineal, la VCdD, las mediciones antropométricas, las mediciones de fuerza y la agilidad, y encontraron que el porcentaje de precisión en el test de *Stroop Word-colour test* era el

que más correlacionaba con el resultado en el test de agilidad ( $R^2 = 0,29$ ,  $p = 0,02$ ).

A pesar de ello, la mayoría de los test utilizados hasta el momento requieren una toma de decisión muy simple que representa una complejidad demasiado baja como para simular las exigencias competitivas a las que se enfrentan los jugadores en competición y, en muchos casos, también se trata de test inespecíficos a situaciones de juego reales.

➤ ***Factores técnicos***

Tras los factores cognitivos, parece que, dentro del componente motor, los factores técnicos y coordinativos juegan un papel más significativo en el rendimiento de la AR que los factores relacionados con la fuerza (G. J. Henry et al., 2016; Markovic, 2007; W. B. Young et al., 2002). Esto es debido, probablemente, a la importancia de los reajustes corporales para el cambio de dirección en reacción a los estímulos presentados, que buscan la máxima eficacia del movimiento en función de la situación a la que se debe responder. Sin embargo, aunque algunos estudios han examinado la influencia de los factores técnicos y biomecánicos en el rendimiento en cambios de dirección (Lockie et al., 2019; Marshall et al., 2014; Rouissi et al., 2017; J. Sheppard & Young, 2006; Shimokochi et al., 2013; Skok & Tous, 2014; Spiteri et al., 2013), pocos hacen referencia a la influencia de esos factores técnicos en el rendimiento en acciones de AR, es decir, en respuesta a un estímulo externo (Weir et al., 2019; Wheeler & Sayers, 2010). En el estudio de Weir et al. (2019) se encontró una mayor variabilidad en la coordinación del movimiento

medida a través de una técnica de codificación de vectores modificada para analizar la coordinación entre tronco y pelvis, por un lado, y cadera y rodilla, por el otro, con la inclusión de un elemento externo al que responder, provocando técnicas de ejecución variables y adaptadas a la situación. La variabilidad del movimiento se midió a través de la desviación estándar de los vectores en los gráficos ángulo-articulación, que proporciona una medida de cuánto varían las relaciones angulares entre las diferentes articulaciones. Por su parte, Wheeler & Sayers (2010) encontraron una modificación en la técnica del cambio de dirección al incluir toma de decisión en la realización de la acción, pues la velocidad del movimiento lateral en el cambio de dirección quedaba limitada y se modificaban las estrategias de colocación del pie de apoyo para el cambio de dirección. En este sentido, diferentes revisiones han demostrado que, comparado con el cambio de dirección preplaneado, el realizado en reacción a un estímulo provoca una mecánica de la rodilla de mayor riesgo amplificando el estrés mecánico en las cargas articulares de la rodilla en los diferentes planos (S. R. Brown et al., 2014; Giesche et al., 2021), las cuales son desproporcionadamente mayores que el aumento en la activación muscular (Weir, 2022). Específicamente, se constata una mayor carga articular en la rodilla en el plano sagital, transverso y frontal (Dos'Santos & Jones, 2023), lo que supone una mayor carga sobre el ligamento cruzado anterior durante el cambio de dirección con un aumento en la carga de la rodilla en el plano sagital (62 %), frontal (26 %) y transverso (12 %) (Weinhandl et al., 2013).

➤ ***Factores físicos***

Por último, los factores físicos son los que parecen mostrar las correlaciones más bajas con el rendimiento en la AR en los estudios analizados.

La relación con la fuerza de CORE ha sido escasamente estudiada. En el estudio de Edwards et al. (2017) se investigó el control del tronco y su rango de movimiento durante una tarea de AR. En él, los jugadores más rápidos demostraron un mayor rango de movimiento del tronco durante la tarea, tanto total como en flexión, extensión y rotación. Los autores concluyeron que el grupo con mayor rango de movimiento del tronco probablemente lo conseguía mediante una mayor activación de la musculatura profunda abdominal, mientras que el grupo con menor movilidad no era capaz de activar correctamente esa musculatura, por lo que debía aumentar la rigidez del tronco para compensar y controlar el movimiento; por ello intuyeron una relación favorable entre la fuerza del CORE y el rendimiento en la tarea (Edwards et al., 2017).

En referencia a la influencia de la velocidad lineal sobre el rendimiento en agilidad, la mayoría de los estudios encuentran correlaciones bajas y no significativas entre ambas capacidades. J. M. Sheppard et al. (2006) estudiaron la relación entre el rendimiento en un test de velocidad lineal, uno de VCdD y uno de AR, y encontraron una correlación alta entre el resultado en el test de velocidad lineal y el de VCdD ( $r = 0,74$ ,  $p < 0,001$ ), pero una correlación mucho más baja entre el test de velocidad lineal y el de AR ( $r = 0,33$ ,  $p < 0,010$ ), todo ello utilizando el mismo patrón de movimiento y la misma

distancia en ambos test. En la misma línea, T. J. Gabbett et al. (2008) encontraron una correlación significativa entre el tiempo de movimiento en el test de agilidad y el resultado en los test de velocidad en esprint de 10 y 20 m y los test de VCdD ( $p < 0,050$ ), sin encontrar correlaciones significativas entre el tiempo de decisión y la precisión de la decisión en el test de agilidad con ninguna medida de velocidad lineal o de la VCdD. Por su parte, A. Scanlan et al. (2013) comprobaron que los aspectos con mayor influencia en el resultado del test de agilidad fueron el tiempo de respuesta ( $r = 0,76$ ,  $p = 0,004$ ) y el tiempo de decisión ( $r = 0,58$  y  $p = 0,049$ ), sin encontrar correlaciones significativas con ninguna otra variable de velocidad lineal o VCdD. En cambio, sí se encontró una correlación moderada significativa entre el resultado del test de VCdD y la velocidad pico en el test de esprint lineal ( $r = -0,44$ ,  $p < 0,050$ ). Todos estos resultados ponen en evidencia que, aunque la velocidad puede ser un factor influyente sobre la AR, los factores cognitivos tienen una mayor influencia sobre la misma, dejando esa capacidad en segundo plano.

Por último, se han observado resultados similares en cuanto a la influencia de las cualidades musculares de las extremidades inferiores (factores de fuerza, potencia y fuerza reactiva) sobre el rendimiento en la AR, pues su peso sobre el rendimiento en la acción es muy reducido debido a una mayor influencia de los factores perceptivos y de toma de decisiones, que la dejan en un segundo plano (G. J. Henry et al., 2016; Matlák et al., 2016; Naylor & Greig, 2015; Spiteri et al., 2015; Spiteri, Nimphius, et al., 2014; Warren B. Young, Miller, et al., 2015). A este respecto, Warren B. Young,

Miller et al. (2015) estudiaron la influencia de la fuerza máxima, la fuerza reactiva y la potencia sobre el rendimiento en la AR en jugadores de fútbol australiano y encontraron que el conjunto de variables estudiadas solo explicaba un 14 % de la varianza del resultado del test de AR, así como correlaciones muy bajas y no significativas entre las cualidades físicas evaluadas y el rendimiento en la agilidad ( $r = -0,10$  a  $r = 0,12$ ,  $p > 0,050$ ). En la misma línea, Spiteri, Nimphius, et al. (2014) evaluaron la fuerza concéntrica, excéntrica, isométrica y dinámica máxima, además de la potencia, para conocer su influencia sobre la agilidad en jugadoras de baloncesto, y encontraron que las fuerzas excéntrica e isométrica fueron las que contribuyeron en mayor medida al rendimiento en AR (25 % y 24 %, respectivamente), seguidas de la fuerza dinámica máxima (20 %), la fuerza concéntrica (18 %) y los valores de potencia (12 %). Naylor & Greig (2015) encontraron una baja influencia de la fuerza excéntrica de isquiotibiales sobre el test de AR. Sin embargo, fue el principal predictor de rendimiento en los test de VCdD, de deceleración y de velocidad lineal. La contribución de la potencia sobre el rendimiento en AR también ha demostrado ser baja, sin que se haya encontrado una relación significativa entre los valores de potencia observados en el CMJ y el rendimiento en la AR (G. J. Henry et al., 2016; Matlák et al., 2016; Spiteri, Nimphius, et al., 2014; Warren B. Young, Miller, et al., 2015).

Por último, Spiteri et al. (2015) estudiaron las estrategias neuromusculares durante el cambio de dirección en una tarea realizada en reacción a un estímulo audiovisual presentado en una pantalla, y encontraron que los deportistas más rápidos mostraban un

mayor pico de fuerza relativa por unidad de sección transversal del músculo en el recto femoral y el vasto interno del cuádriceps. Además, los más rápidos mostraban menores valores en tiempo premotor (medido como el tiempo entre el momento de presentación del estímulo y el comienzo de la actividad muscular), motor (medido como el tiempo transcurrido entre el comienzo de la actividad muscular y el comienzo de la producción de fuerza vertical) y la ratio de subida electromiográfica en vasto interno, externo y gemelo medial. Según todos estos datos, parece que las estrategias neuromusculares de activación muscular pueden contribuir al rendimiento en agilidad en mayor medida que los valores de fuerza. Esto puede deberse a que, mediante la adición de un estímulo cognitivo, la capacidad de utilizar y aplicar fuerza durante el cambio de dirección por parte del jugador puede verse obstaculizada (Paul et al., 2015), lo cual reduce su influencia sobre el rendimiento final. Es necesario ampliar la investigación para saber más sobre las estrategias de ejecución de la acción y su influencia en el rendimiento motor.

#### ***1.1.5. Agilidad reactiva y nivel de rendimiento***

La mayoría de los trabajos que han estudiado la validez discriminatoria de los test de AR para diferenciar entre niveles de rendimiento han encontrado un mayor rendimiento en la AR en jugadores de un nivel competitivo superior, por lo que ha demostrado ser una capacidad determinante del rendimiento en los deportes de equipo (Farrow et al., 2005; T. Gabbett & Benton, 2009; Green et al., 2011; G. Henry et al., 2012; Lockie et al., 2014; Morland et al., 2013;

A. T. Scanlan et al., 2015; Sekulic et al., 2017; Trajković et al., 2020; Trecroci et al., 2018; Veale et al., 2010; Warren B. Young et al., 2011). Estos estudios hallaron un nivel de rendimiento un 6,4 % mejor de promedio en jugadores de mayor nivel de rendimiento (rango 2,10 a 18,2 %) comparado con jugadores de un nivel de rendimiento menor (Morral et al., 2020). Aparte de la medición del tiempo total, otros estudios también han determinado esas diferencias en aspectos como el tiempo de decisión y la precisión de la decisión, pues se encontró una mayor velocidad en el tiempo de decisión (promedio = 23,2 %, rango = 10,2 a 48,0 %) y una mejor precisión en la decisión (promedio = 9,3 %, rango = 2,5 a 21,0 %) en jugadores de una categoría competitiva superior; alegaron como posible razón que los jugadores de mayor nivel de rendimiento tienen una mayor capacidad para extraer la información relevante y reaccionar más rápidamente a cualquier tipo de estímulo (Morral et al., 2020).

Algunos estudios han querido indagar más en la capacidad discriminatoria de los test de AR tratando de ver si la diferenciación entre niveles de rendimiento es independiente del tipo de estímulo utilizado: específico, como el movimiento de un humano; o no específico, como la reacción a una luz (Morland et al., 2013; Trajković et al., 2020; Warren B. Young et al., 2011). Estos estudios han encontrado que el uso de estímulos específicos es mucho más adecuado para diferenciar entre niveles de rendimiento, pues se han constatado diferencias significativas entre las diferentes categorías valoradas con el uso de estímulos específicos y no se han encontrado esas diferencias o eran de menor entidad con el uso del estímulo de luz. En el caso de Young et al. (2011), se comparó la realización del

test mediante el uso de dos estímulos diferentes en una pantalla. Uno de ellos representaba el movimiento de un atacante en un vídeo y el otro, la aparición de una flecha indicando la dirección de salida. No se encontraron diferencias significativas entre grupos con el uso de la flecha, pero sí en el caso del jugador representado en vídeo. Por su parte, Morland et al. (2013) y Trajkovic et al. (2020) compararon los niveles de rendimiento al usar una luz o un humano como estímulo desencadenante de la respuesta en el test de agilidad; en el caso de Morland et al. (2013), se encontró que la luz no era capaz de detectar diferencias significativas entre niveles de rendimiento. Sin embargo, Trajkovic et al. (2020) sí encontraron diferencias significativas en ambos casos, aunque en el caso del uso del estímulo humano se encontraban diferencias significativas entre los 3 niveles de rendimiento valorados (élite, subélite y amateur), y en el caso del uso de la luz solo se discriminaba entre jugadores élite y amateur, sin encontrar diferencias significativas entre los grupos élite y subélite. Otros estudios también han encontrado diferencias significativas entre niveles de rendimiento mediante el uso de una luz como estímulo desencadenante de la respuesta (Green et al., 2011; Lockie et al., 2014; Sekulic et al., 2017). Sin embargo, parece tener mucha más validez ecológica el uso de un estímulo humano por su mayor similitud con los estímulos presentes en la competición deportiva.

En relación a los estudios que han comparado el rendimiento en AR entre diferentes categorías de edad, todos han encontrado que los jugadores de más edad conseguían mejores resultados en el test que los más jóvenes (Andrašić et al., 2021; Bekris et al., 2018; Fiorilli, Mitrotasios, et al., 2017; Krolo et al., 2020; Pojskic et al., 2018;

Serpell et al., 2010). Además, se ha encontrado una mayor correlación entre el rendimiento en un test de cambio de dirección preplaneado y el de uno en respuesta a un estímulo en jugadores más jóvenes ( $r = 0,61$ ,  $p < 0,010$  en U14), que progresivamente decrece con el aumento de la edad, encontrando correlaciones mucho menores y no significativas entre ambas capacidades ( $r = 0,31$  en U18), cosa que sugiere que, con la madurez y la experiencia, los factores cognitivos adquieren un mayor peso en cuanto a la influencia sobre el rendimiento en el test de agilidad, a diferencia del rendimiento en el test preplaneado (Fiorilli, Mitrotasios, et al., 2017). Una limitación que encontramos en la mayoría de los estudios citados es el uso de la luz como estímulo, que puede reducir la ventaja que puedan tener los jugadores más experimentados a la hora de reconocer patrones o poder anticipar el movimiento para reaccionar más rápidamente (Bruce et al., 2012).

Todos estos resultados indican la mayor capacidad de anticipación de los jugadores de mayor nivel de rendimiento y experiencia a través de la observación de la postura y el reconocimiento de patrones que no pueden obtenerse mediante el uso de un estímulo general (G. Henry et al., 2012; A. T. Scanlan et al., 2015; Trajković et al., 2020). En este sentido, se ha encontrado que con la práctica y el entrenamiento de una habilidad el cerebro sufre modificaciones a nivel estructural y funcional (Calmels, 2020). Estas adaptaciones implican la simplificación de los circuitos neuronales implicados en el movimiento eliminando o debilitando los circuitos no necesarios que puedan interferir negativamente en la ejecución de la tarea y consiguiendo así una mayor eficacia neural que les permita emplear

los recursos en otros aspectos del rendimiento (Gokeler et al., 2019; Li et al., 2023). De esta forma, la mayor capacidad de detectar la información relevante del entorno, la mayor capacidad perceptiva y la mayor eficacia de los circuitos neuronales para dar respuesta a las situaciones de juego podrían ser aspectos claves en el rendimiento en una tarea de agilidad reactiva que permiten a los deportistas de mayor nivel conseguir respuestas más rápidas y adecuadas (Calmels, 2020; Li et al., 2023; Romeas & Faubert, 2015).

Por último, también se ha encontrado un nivel de rendimiento significativamente mayor en los test de AR en jugadores implicados en deportes con alta demanda en agilidad (fútbol, baloncesto, balonmano y voleibol) en comparación con aquellos que practican disciplinas que no requieren reacciones constantes a estímulos externos (gimnasia, atletismo y danza deportiva), destacando la relevancia de esta capacidad en el rendimiento competitivo en los deportes colectivos (Sekulic et al., 2014).

Las adaptaciones que se generan a nivel cerebral y motriz están intrínsecamente ligadas a la práctica. La evaluación de estas adaptaciones a través de otros métodos que no se centren exclusivamente en el tiempo puede proporcionar una comprensión más profunda de estos procesos. Además, podría permitir la identificación de distintas etapas de aprendizaje y la necesidad de diversificación en determinadas tareas para alcanzar niveles de habilidad más avanzados.

### ***1.1.6. Entrenamiento para la mejora de la agilidad reactiva***

Por lo que respecta a estudios orientados a analizar qué tipo de entrenamientos pueden producir mejoras en el rendimiento en la AR, la mayoría de ellos se han centrado en comprobar los efectos del entrenamiento mediante los juegos reducidos (Chaouachi et al., 2014; W. Young & Rogers, 2014), el entrenamiento visual perceptivo basado en vídeo (Engelbrecht et al., 2016; Nimmerichter et al., 2016), los entrenamientos SAQ (de velocidad, agilidad y rapidez) (Trecroci et al., 2016) y los basados en la realización de acciones de cambio de dirección en respuesta a diferentes estímulos externos (Born et al., 2016; Chaalali et al., 2016; Engelbrecht et al., 2016).

El entrenamiento mediante juegos reducidos ha demostrado ser una buena herramienta para mejorar el rendimiento en AR en fútbol, pues tras 11 sesiones de intervención se ha apreciado una mejora significativa en el tiempo total del test ( $p = 0,008$ ,  $ES = 0,93$ ), atribuida principalmente a una gran reducción del tiempo de respuesta ( $p < 0,001$ ,  $ES = 2,32$ ) (W. Young & Rogers, 2014), mejora que no se encontró en el grupo que realizó el entrenamiento basado en cambios de dirección. Además, Chaouachi et al. (2014) encontraron también en el grupo que entrenó mediante juegos reducidos una mejora significativa en el rendimiento en los test de agilidad con balón ( $p \leq 0,050$ ,  $ES = 1,34$ ) en comparación con el grupo que entrenó mediante ejercicios basados en la realización de cambios de dirección y con el grupo control.

En el caso del entrenamiento visual perceptivo basado en vídeo, también se han encontrado mejoras significativas tanto en el número

de decisiones correctas ( $p < 0,001$ ), como en el tiempo de respuesta ( $p = 0,006$ ) y en el tiempo total del test de AR ( $p = 0,001$ ) (Nimmerichter et al., 2016), así como porcentajes de mejora significativos tras un periodo de intervención (Engelbrecht et al., 2016), hecho que evidencia la eficacia de este tipo de entrenamiento para mejorar el tiempo de decisión.

Por último, los entrenamientos basados en la realización de acciones de cambios de dirección en respuesta a un estímulo han demostrado en todos los casos una mejora significativa en el tiempo en el test de AR (Born et al., 2016; Chaalali et al., 2016; Engelbrecht et al., 2016; Serpell et al., 2011). Algunos de ellos compararon un grupo que realizó un entrenamiento de habilidades de cambio de dirección conocido y otro que lo hizo en respuesta a estímulos externos, y observaron que el único grupo que consiguió mejoras significativas en el rendimiento en la AR fue el que realizó cambios de dirección en respuesta a estímulos externos (Born et al., 2016; Chaalali et al., 2016). Asimismo, se vio que el entrenamiento de habilidades de cambio de dirección en respuesta a estímulos externos producía mejoras significativas en el tiempo de reacción, además del tiempo total, mientras que no se encontraron esas diferencias en el grupo control (Born et al., 2016; Chaalali et al., 2016; Engelbrecht et al., 2016b).

Todos estos estudios han puesto de manifiesto la entrenabilidad de las capacidades perceptivas y de toma de decisión de los deportistas y la importancia de hacer un trabajo específico orientado a mejorarlas para poder conseguir un aumento en su rendimiento. Sin embargo,

todas estas mejoras se han determinado en base a la realización de un test de agilidad donde únicamente se ha medido el tiempo necesario para completar el test, como variable de rendimiento final, sin tener en cuenta los cambios en cuanto a la estrategia de ejecución.

Se considera interesante complementar esa información con la valoración de algunos aspectos cualitativos de la acción que puedan proporcionar información sobre su ejecución, tales como la fluidez, adaptabilidad, variabilidad de movimiento o la precisión de la acción para poder obtener una visión integral del rendimiento del deportista. Esta visión más global permitiría comprender mejor los efectos del entrenamiento, facilitando la identificación de patrones de movimiento apropiados y ayudándonos a determinar los diferentes estadios de aprendizaje y habilidad del deportista.



## **1.2. Variabilidad de movimiento humano**

El movimiento humano es inherentemente variable, incluso cuando se trata de movimientos repetitivos. Por ello, el estudio de la variabilidad de movimiento ha ganado importancia en los últimos años, ya que nos permite entender la forma en que los seres humanos realizan tareas motoras y se adaptan a diferentes situaciones y contextos (M. Couceiro et al., 2014; Stergiou, 2016; Stergiou et al., 2006). La variabilidad de movimiento es un fenómeno natural y esencial en la realización de tareas motoras, y su comprensión puede aportar información relevante en la evaluación del rendimiento deportivo y en el ámbito de la prevención de lesiones. Además, puede ayudarnos a identificar patrones de movimiento ineficientes o inseguros (Cowin et al., 2022).

Una de las principales aportaciones de esta tesis doctoral es la inclusión del análisis del rendimiento en una tarea de agilidad en el fútbol mediante el cálculo de la variabilidad de movimiento a través de la entropía, además de la medición clásica de la velocidad en la tarea a través del tiempo total necesario para su ejecución. Para una mejor comprensión del concepto, a continuación se define el término *variabilidad de movimiento*, se explican los ámbitos de aplicación en los que se ha utilizado, y se comparan las técnicas de valoración no lineales con las lineales, profundizando sobre el término *entropía*.

### **1.2.1. Definición y concepto**

La variabilidad de movimiento es inherente al ser humano. Incluso los deportistas altamente habilidosos y consistentes en el resultado de sus acciones demuestran ciertos niveles de variabilidad de movimiento en las tareas. El término *variabilidad de movimiento* se ha definido tradicionalmente como «las fluctuaciones normales que se dan en el rendimiento motor a lo largo de diferentes repeticiones de una tarea» (Bernstein, 1967; Stergiou et al., 2004). Estas variaciones pueden representar el nivel de complejidad de un movimiento, un estadio de aprendizaje, la presencia de dificultades en la tarea o los grados de libertad del individuo para la ejecución (Birklbauer, 2019; M. Couceiro et al., 2014; Moras et al., 2018; K. M. Newell & Vaillancourt, 2001; Renshaw et al., 2010). Sin embargo, la falta de definiciones claras y específicas de los términos utilizados para medir y describir la variabilidad de movimiento en el ámbito deportivo ha dado lugar a una falta de precisión en la literatura y a comparaciones inexactas entre los resultados de las investigaciones. Actualmente existen numerosas formas de evaluar y analizar la variabilidad de movimiento para cualquier tarea, ya que es omnipresente en los múltiples niveles de la organización del movimiento y puede producirse de muchas formas (Cowin et al., 2022). Por ejemplo, en un cambio de dirección se puede analizar el tipo de cambio de dirección realizado, la fuerza aplicada a cada paso, la colocación de los pies o la variación de la postura, entre otras, y cada una de estas opciones representa un tipo diferente de variabilidad de movimiento (Caballero et al., 2019; M. Couceiro et

al., 2014; Fernández-Valdés et al., 2020; Gonçalves et al., 2018; Preatoni et al., 2010; Vaz et al., 2019).

Una revisión reciente propuso generar una diferenciación para la definición del término de *variabilidad de movimiento* con el objetivo de solucionar este problema (Cowin et al., 2022), en ella se distinguieron tres tipos de variabilidad de movimiento en función del objetivo del análisis, que son la *variabilidad estratégica*, la *variabilidad de ejecución* y la *variabilidad del resultado*, representados gráficamente en la figura 7.

Figura 7. Ejemplificación de los diferentes tipos de variabilidad de movimiento dentro de una acción de cambio de dirección



FUENTE. Modificada de Cowin et al. (2022).

La *variabilidad estratégica* se refiere a las diferentes acciones motoras que se utilizan para completar una tarea y que sirven para conseguir un objetivo común (Cowin et al., 2022). El concepto de *estrategia* se refiere a la solución musculoesquelética elegida para realizar una tarea motora (Bates, 1996). Esta estrategia puede

realizarse de forma intencionada y voluntaria o no, y depende de los condicionantes del entorno y de la capacidad del individuo para realizar la acción requerida. La variabilidad estratégica suele medirse mediante el número de acciones motoras diferentes utilizadas para completar una tarea en sus diferentes repeticiones. Por ejemplo, dentro de una tarea de agilidad, la realización de un cambio de dirección hacia la izquierda mediante un cambio de dirección abierto o cruzado implica distintas estrategias o acciones motoras en las diferentes repeticiones de la tarea, de forma que, realizadas dentro de la misma tarea, demuestran la variabilidad estratégica.

La *variabilidad de ejecución* se refiere a los ajustes intencionales y no intencionales del cuerpo entre repeticiones dentro de una misma estrategia (Cowin et al., 2022). Este tipo de variabilidad es la más investigada por la literatura científica y va ligada al concepto desarrollado por Bernstein de *repetición sin repetición*, donde se valoran las pequeñas variaciones que ocurren en una tarea incluso cuando se intenta realizar exactamente el mismo movimiento (Bernstein, 1967). Un ejemplo de este tipo de variabilidad sería el análisis de los cambios de coordinación en el ángulo de la rodilla durante un cambio de dirección a la izquierda, o las variaciones en los valores de acelerometría durante una tarea de agilidad. En este caso, se pueden medir mediante diferentes técnicas de medición y análisis, pudiendo emplear medidas continuas (como el análisis de la complejidad de la señal de acelerometría) o discretas (como la frecuencia de errores en la ejecución de una tarea), mediante técnicas de análisis de datos lineales (como el análisis de la varianza o de la desviación estándar) y no lineales (como el análisis de la entropía o

de la complejidad) y pudiendo medir la variabilidad dentro de una misma repetición o intrarrepetición (como los ajustes corporales dentro de una propia repetición); o entre repeticiones o interrepetición (como el ángulo de la rodilla en el gesto del cambio de dirección entre diferentes repeticiones que utilicen una misma estrategia).

Por último, la *variabilidad del resultado* describe las diferencias obtenidas en el resultado del movimiento, entendiéndose como resultado lo que se logra con el movimiento y que es el objetivo principal de la acción (Cowin et al., 2022). Un ejemplo de este tipo de variabilidad dentro de una tarea de agilidad podría ser el tiempo requerido para completar la tarea o la tasa de éxito en la precisión de la decisión. Al igual que en la variabilidad de ejecución, la variabilidad de resultado se puede medir a través de diferentes técnicas de medición y análisis en función del objetivo de estudio, pudiéndose utilizar medidas continuas (como la trayectoria elegida en el cambio de dirección por el ejecutante) o discretas (como el tiempo requerido para realizar la acción o la precisión de la decisión) y mediante técnicas de análisis de datos lineales, que suelen ser las más habituales en este tipo de variabilidad (como la tasa de éxito (%) de la acción o la desviación estándar de los resultados del tiempo conseguido en las acciones). En este caso, al ser el objeto de análisis el resultado de la acción, este análisis suele darse entre repeticiones.

Con esta diferenciación de conceptos se pretenden clarificar los distintos objetivos en el análisis de la variabilidad de movimiento para diferenciarlos entre ellos y conseguir una unificación

terminológica que permita hacer comparaciones coherentes entre los resultados obtenidos en las distintas investigaciones.

En esta tesis se ha estudiado la variabilidad de ejecución mediante medidas de análisis no lineales, a través del análisis de la entropía de la señal de aceleración obtenida durante la realización de la acción.

### **1.2.2. Ámbitos de aplicación de la variabilidad de movimiento**

La variabilidad de movimiento ha sido estudiada principalmente en el ámbito de la salud, para posteriormente introducirse en el análisis del movimiento dentro del ámbito deportivo como medida de complejidad que puede describir cambios en el control postural (Lametti & Ostry, 2010; Lubetzky et al., 2018; Rhea et al., 2011, 2019), analizar la coordinación de la carrera y la marcha (Bisi & Stagni, 2016; Caballero et al., 2019; De Oliveira et al., 2019; A. M. Murray et al., 2017), analizar el comportamiento táctico en fútbol (Low et al., 2020), analizar movimientos deportivos concretos como el saque de tenis, el *swing* en golf o un tiro libre en baloncesto (Button et al., 2003; Hamilton & Reinschmidt, 2010; Menayo et al., 2012; Mendes et al., 2013; Robins, 2006) o analizar la influencia de la inclusión de condicionantes externos sobre diferentes tareas de fuerza (Fernández-Valdés et al., 2020; Moras et al., 2018), saltos (Akbari et al., 2023; Westwood et al., 2020) y marcha y carrera (Caballero et al., 2019; A. Murray et al., 2019; Sutter et al., 2021; Wang et al., 2021), entre otros.

Dentro del ámbito del rendimiento deportivo, los deportistas buscan estabilidad y consistencia en la consecución del resultado deseado

(Barris et al., 2014; R. Bartlett, 2008; Ranganathan et al., 2020; Tucker et al., 2013). Sin embargo, se ha encontrado que esa consistencia en la consecución del objetivo requiere de ciertos niveles de variabilidad de movimiento para poder adaptar el gesto a posibles limitaciones del entorno o de la tarea (Barris et al., 2014; R. Bartlett et al., 2007; Gorman & Maloney, 2016; Komar et al., 2015; Legg et al., 2017; K. Newell & James, 2008; Ranganathan et al., 2020; Stergiou & Decker, 2011). Los estudios realizados al respecto han demostrado que los deportistas de élite que consiguen resultados estables en las tareas son mejores a la hora de cambiar sus movimientos para adaptarse a los diferentes condicionantes externos que puedan encontrarse (R. Bartlett et al., 2007; Gorman & Maloney, 2016; Gray, 2020; Komar et al., 2015; Tucker et al., 2013). Parece ser que en función del objetivo de la tarea puede ser necesaria una mayor o menor variabilidad de movimiento para lograr un rendimiento mejor; en este sentido, se ha encontrado que las tareas que requieren puntería, donde el inicio de la acción está controlado por el sujeto y el entorno es estable, como un tiro libre en baloncesto, un lanzamiento de dardos o un servicio de tenis, probablemente requieran niveles de variabilidad de movimiento menores para conseguir un resultado más consistente y un mayor rendimiento en la acción (Hamilton & Reinschmidt, 2010; Menayo et al., 2012; Mendes et al., 2013; Robins, 2006; Vagner et al., 2022). Sin embargo, en tareas abiertas y multiarticulares, se ha observado que un mayor nivel de variabilidad estratégica se vincula a un mejor rendimiento en la acción debido a la necesidad de adaptarse al entorno cambiante o de generar respuestas motrices diversas para conseguir un objetivo

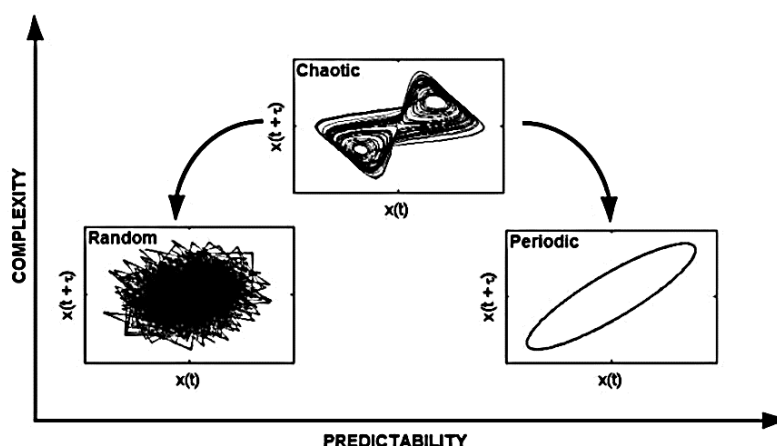
determinado (Gray, 2020; Orth et al., 2017; Stergiou et al., 2006). Por ejemplo, se encontró que los jugadores de béisbol con mayor variabilidad temporal en el bateo eran más precisos en sus golpes en comparación con los bateadores de nivel inferior (Gray, 2020). Así pues, parece ser que la naturaleza de la tarea condiciona la variabilidad de movimiento, encontrándose también una reducción en esa variabilidad a medida que se aprende y se entrena la habilidad (Fernández-Valdés et al., 2022; Guimarães et al., 2020), lo que sugiere la necesidad de introducir cambios para romper esa estabilidad y mejorar la capacidad adaptativa del gesto.

El estudio de la variabilidad de movimiento también ha generado interés dentro del deporte en el ámbito preventivo y de la rehabilitación físico-deportiva. En este sentido, múltiples estudios han inferido que la variabilidad es necesaria e importante, ya que permite distribuir la tensión entre los tejidos y evitar exceder la capacidad fisiológica de la musculatura implicada, lo cual reduce el riesgo de lesión por sobreuso (Hamill et al., 1999; James et al., 2000; Nordin & Dufek, 2019). Esto resulta especialmente relevante en el ámbito del rendimiento deportivo, donde son habituales las fuerzas tisulares elevadas y las acciones repetitivas. En estos casos, la variabilidad de movimiento permite redistribuir las elevadas fuerzas repetidas entre diferentes tejidos a lo largo del tiempo reduciendo el impacto y la tensión sobre un mismo tejido de forma repetida (Nordin & Dufek, 2019). Un ejemplo de ello podría ser la acción de golpeo en fútbol, una escasa variabilidad en la ejecución de la acción, en acciones repetidas, provocaría la aplicación repetida de tensiones sobre el mismo tejido, lo cual aumentaría el riesgo de lesión por

sobreuso o podría dar lugar a una posible rotura en caso de continuar aplicando altos niveles de carga sobre la misma musculatura (Cowin et al., 2022). Por otro lado, un exceso de variabilidad de movimiento también ha sido relacionado con un mayor riesgo de lesión, en este caso con lesiones agudas (Giesche et al., 2021; Stergiou et al., 2006). Este exceso de variabilidad de ejecución se relaciona con movimientos inesperados o erráticos que pueden llevar a comportamientos de riesgo o acciones más inestables relacionadas con la falta de control en los movimientos (Nordin et al., 2017). La realización de movimientos excesivamente variables y descontrolados puede llevar a la ejecución de movimientos nuevos y desconocidos que supongan un riesgo por la posibilidad de sufrir una caída descontrolada, un giro inesperado o adoptar posiciones poco seguras. En estas situaciones, es probable que la musculatura y/o articulaciones implicadas en el movimiento no estén preparadas para soportar dicha carga, por lo que aumenta el riesgo de sufrir una lesión aguda como puede ser un esguince, una fractura o una lesión en los tejidos blandos, como los desgarros musculares.

Tomando todo esto en cuenta se ha determinado que puede existir una zona teórica de variabilidad de movimiento óptima con respecto a las lesiones en forma de U invertida representada en la figura 8 (Stergiou & Decker, 2011). Es importante aclarar que el comportamiento en términos de variabilidad debe considerarse en un continuo que puede ser más o menos predecible (eje x) y exhibir o no el caos (eje y), de forma que pueden existir otras muchas posibilidades más allá de las 3 presentadas en el gráfico.

Figura 8. Representación gráfica de la U-invertida en un continuum entre predecibilidad y complejidad



NOTA. Representación gráfica del comportamiento en términos de variabilidad en un continuum más o menos predecible (eje  $x$ ) con mayor o menor nivel de caos (eje  $y$ ). FUENTE. Extraída de Stergiou & Decker (2011).

De esta forma, la zona óptima de menor riesgo se ubicaría entre una zona de orden excesivo vinculada con una variabilidad de movimiento excesivamente baja relacionada con el aumento de tensiones sobre una musculatura específica y el aumento del riesgo de lesión por sobreuso, y una zona de desorden excesivo vinculada con una variabilidad demasiado alta relacionada con movimientos erráticos y descontrolados que pueden aumentar el riesgo de sufrir lesiones agudas (Hamill et al., 2012; Stergiou et al., 2006; Stergiou & Decker, 2011).

### 1.2.3. La valoración de la variabilidad de movimiento

Tradicionalmente, los estudios dedicados a la valoración del rendimiento deportivo se han centrado en valorar variables centradas únicamente en el resultado de la acción, como el tiempo necesario

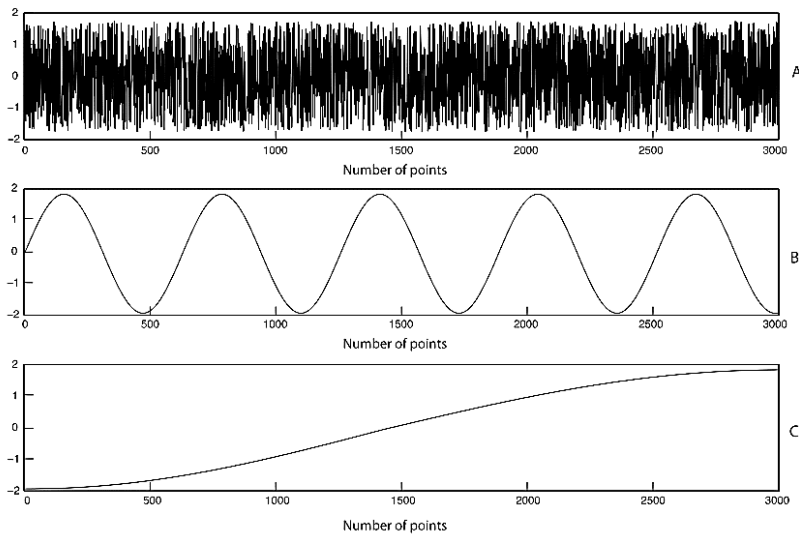
para recorrer una distancia, la velocidad alcanzada, la altura de un salto o la potencia generada, entre otras. Estas variables proporcionan información relevante sobre el rendimiento de la acción, aunque de forma incompleta, ya que se desconoce la causa subyacente del resultado conseguido. Por este motivo, a lo largo de los años ha surgido un interés creciente por investigar variables que determinen la forma en la que se desarrollan determinados movimientos y se consiguen ciertos resultados. Dentro de estas podemos ubicar el estudio de la variabilidad de movimiento.

Actualmente no existe una forma universal y única de estudiar la variabilidad de movimiento, sino que coexisten diferentes métodos para su estudio, diferenciados en métodos estadísticos lineales y no lineales (Cowin et al., 2022). Esto ha llevado a una gran controversia a la hora de interpretar los datos, ya que la metodología utilizada para su análisis tiene una gran influencia sobre su interpretación. Las medidas lineales utilizadas tradicionalmente en el análisis del movimiento humano están basadas en el análisis de la dispersión de los datos con respecto a la media, llevando a profesionales y científicos a considerar que la media es el estándar de rendimiento, y que todo lo que se aleja de ella se aleja de la normalidad (Stergiou & Decker, 2011). Este análisis únicamente proporciona información respecto a la cantidad o magnitud de la variabilidad, y se basa en valoraciones estadísticas como el análisis de varianza o de la desviación estándar. Sin embargo, el uso de métodos estadísticos no lineales tiene en cuenta también la estructura temporal y la complejidad de los datos, permitiendo conocer la evolución del movimiento humano a lo largo del tiempo y centrándose de esta

forma en la naturaleza exploratoria del movimiento y en el análisis del comportamiento motor y su variación (Stergiou et al., 2004; Stergiou & Decker, 2011). Teniendo en cuenta que las series temporales resultantes de señales fisiológicas presentan fluctuaciones no lineales, el uso de un análisis estadístico mediante técnicas lineales dará una información parcializada del movimiento humano (Fernández-Valdés, 2020; Orellana & De La Cruz Torres, 2010), mientras que las técnicas no lineales nos pueden proporcionar información cuantitativa y cualitativa acerca del comportamiento del sistema motor mediante el seguimiento de patrones de movimiento humano (Orellana & De La Cruz Torres, 2010).

En la figura 9, tomada de Komar et al. (2015), se representa de forma gráfica cómo puede perderse información relativa al proceso mediante el uso aislado de técnicas lineales, de forma que 3 series de datos completamente diferentes resultan en un mismo valor de promedio y desviación estándar.

Figura 9. Series temporales con la misma magnitud pero estructura diferente



NOTA. Ejemplo de datos de una serie temporal con la misma magnitud (promedio = 0; SD = 1), pero estructuras diferentes. FUENTE. Extraída de Komar et al. (2015).

Teniendo en cuenta todos los aspectos anteriormente expuestos, desde una perspectiva de evaluación, resulta claro que ambos enfoques son necesarios y se complementan, ya que exploran diferentes aspectos de la variabilidad (Harbourne & Stergiou, 2009; Stergiou et al., 2004). De esta forma, el uso de técnicas lineales nos brinda información sobre la magnitud de la variación en un conjunto de datos, sin tener en cuenta su estructura, y las técnicas no lineales nos permiten conocer cómo emerge el comportamiento motor a lo largo del tiempo mediante el análisis cualitativo de la estructura y/o la complejidad de la señal (Stergiou & Decker, 2011).

#### **1.2.4. *La entropía como herramienta para el análisis de la variabilidad de movimiento***

El concepto de *entropía* tiene su origen en la termodinámica clásica, donde Carnot (1824) utilizó el término para referirse a la cantidad de energía de un sistema que no puede ser aprovechada para realizar trabajo. Posteriormente, Boltzmann (1896) asoció este concepto con el desorden molecular, definiéndolo como la probabilidad de que ocurra un determinado estado dentro de un sistema. Más tarde, el concepto fue introducido en el campo de la teoría de la información, definiéndose como la probabilidad de que un proceso se repita, de forma que un valor bajo de entropía representa una mayor probabilidad de que se repita un patrón similar (Shannon, 1948).

En el campo de la salud y el rendimiento deportivo se incorporó el uso de la *entropía* para analizar variables fisiológicas, evaluar la complejidad de los sistemas y analizar el movimiento. En el campo de la salud, se mide la aleatoriedad de los patrones de actividad fisiológica, como la variabilidad de la frecuencia cardíaca, la actividad cerebral o los patrones respiratorios. En este contexto se ha encontrado que los sistemas sanos tienden a tener una mayor entropía, lo cual indica una mayor capacidad de adaptación y respuesta a los cambios ambientales y del entorno (Costa et al., 2002). En el ámbito deportivo se ha utilizado la entropía para analizar el movimiento humano, evaluando la variabilidad y complejidad de patrones de movimiento básicos como la marcha, el lanzamiento o el salto, así como la de patrones de movimiento específicos deportivos, como un tiro libre en baloncesto, un bateo de béisbol o un saque de tenis (M. Couceiro et al., 2014).

Dentro del cálculo de entropía de una serie temporal, las más utilizadas son la entropía aproximada (ApEn) introducida por Pincus (1995), la entropía muestral (SampEn) introducida por Richman & Moorman (2000) y la entropía multiescala (MSE) introducida por Costa et al. (2002). En el caso del cálculo de la ApEn, se ha observado que puede existir un sesgo, debido a que compara cada patrón consigo mismo, lo que puede llevar a un error de interpretación al mostrar mayor regularidad en la señal de la que realmente existe (Costa et al., 2002). Es por ello por lo que la SampEn y la MSE buscan corregir algunos defectos de la primera cuando se aplican a señales biológicas. Así, la SampEn toma una aproximación diferente al ser el negativo del logaritmo natural de la probabilidad condicional de que dos patrones similares con  $m$  puntos permanezcan semejantes si incrementamos el número de puntos a  $m + 1$  (Richman & Moorman, 2000), proporcionando una medida más precisa y adecuada para analizar la complejidad de las series temporales. Por su parte, la entropía MSE permite evaluar la entropía de una serie temporal en múltiples escalas temporales simultáneamente, siendo un enfoque especialmente valioso cuando se trata de analizar series temporales que pueden exhibir patrones complejos en diferentes escalas de tiempo (Costa et al., 2002).

Todas estas métricas se interpretan de forma que un valor bajo de entropía aparecerá cuando una serie temporal tenga muchos patrones repetitivos, mientras que un valor alto de entropía representará una serie temporal más caótica y menos predecible (Costa et al., 2002; Pincus, 1995; Richman & Moorman, 2000).



## **2. Objetivos e hipótesis de la tesis**

---



### **2.1. *Objetivo general de la tesis***

Analizar la fiabilidad y validez de los test de valoración de agilidad existentes y proponer nuevas perspectivas y métodos para su evaluación a través de variables de tiempo y entropía.

### **2.2. *Objetivos e hipótesis de los estudios***

- **Estudio 1:**

**Objetivo:** Examinar la fiabilidad y la validez discriminatoria de los test de agilidad utilizados hasta el momento para valorar la AR en deportes colectivos.

- **Estudios 2 y 3:**

- **Ensayo previo:**

**Objetivo:** Desarrollar un test específico para valorar la agilidad en el fútbol.

Analizar nuevos métodos de valoración del resultado en el test, combinando la medición del tiempo total con la medición de la variabilidad de movimiento.

- **Estudio 2:**

**Objetivo:** Evaluar la influencia de la inclusión de condicionantes externos como el balón y la reacción a un estímulo sobre el tiempo total y la variabilidad de movimiento medida mediante la entropía en una tarea de agilidad en fútbol.

**Hipótesis:** El tiempo total será mayor y la variabilidad de movimiento será menor realizando la tarea con balón que haciéndolo sin balón, en reacción a un estímulo en comparación a hacerlo de forma preplaneada, y en la opción de reacción que incluye más de una opción de respuesta en comparación con la que tiene una única opción de respuesta.

○ **Estudio 3:**

**Objetivo:** Determinar si la VCdD y la AR son capacidades independientes incluso utilizando el mismo patrón de movimiento, en términos del resultado de la acción medida a través del tiempo total, y de una variable de proceso como la variabilidad de movimiento medida mediante la entropía.

**Hipótesis:** La VCdD y la AR son capacidades diferentes, teniendo en cuenta tanto el tiempo total como la entropía de la acción.

### **3. Métodos**

---



La parte empírica de esta tesis consta de una revisión sistemática, un ensayo previo y dos estudios experimentales. La revisión sistemática nos permitió ahondar en los test utilizados hasta el momento para valorar la AR en deportes colectivos, sus características, métodos de valoración y su fiabilidad y validez, de modo que se han podido detectar posibles vacíos en la literatura en cuanto a su estudio. A partir de aquí, con el ensayo previo se quiso desarrollar un nuevo test de agilidad tratando de proponer una tarea que supusiera una mayor complejidad que los test habituales en Y mediante la inclusión de un estímulo específico basado en acciones de toma de decisión propias del fútbol. Además, se analizaron diferentes formas de medición del tiempo, mediante fotocélulas y mediante los imanes utilizados finalmente para su valoración, y se realizó una primera prueba para incluir el análisis de la variabilidad de movimiento en la acción. Con los resultados de este ensayo previo se realizó el primer estudio cuasi experimental de la tesis, donde se analizaron el tiempo total y la variabilidad de movimiento en la tarea de agilidad final propuesta en base a los ensayos previos, y se analizó la influencia de la inclusión de una reacción a un estímulo y/o la conducción de balón sobre las variables de tiempo total y entropía analizadas. Por último, se realizó un segundo estudio cuasi experimental donde se comparaban las salidas de cambio de dirección preplaneado con las realizadas en reacción a un estímulo para comprobar si ambas pueden considerarse capacidades diferentes tanto en relación al resultado de la acción (evaluada a través del tiempo) como en relación a la ejecución (a través de la variabilidad de movimiento medida mediante la entropía).

### ***3.1. Esquema de la metodología***

A continuación se realiza un resumen de los métodos utilizados en los diferentes estudios de la tesis (figura 10). Estos métodos se encuentran desarrollados en mayor profundidad en los estudios, sin embargo, en el esquema resumen se pueden observar de forma global los objetivos, diseño, muestra, variables analizadas, materiales y análisis estadístico empleado en cada uno de los estudios y en el ensayo previo.

Figura 10. Esquema resumen de la metodología utilizada en los diferentes estudios de la tesis

|                      | Estudio 1                                                                 | Ensayo previo                                                                                              | Estudio 2                                                                                                                                          | Estudio 3                                                                                                                                     |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivo             | Revisar la fiabilidad y validez de los test de AR en deportes colectivos. | Desarrollar un test de agilidad en fútbol y explorar nuevas formas de valoración del tiempo total y la VM. | Analizar la influencia de la inclusión de la reacción a un estímulo y/o el balón sobre el tiempo total y la VM en una tarea de agilidad en fútbol. | Establecer si la VCdD y la AR son capacidades independientes teniendo en cuenta la valoración del tiempo total y la VM a través de la SampEn. |
| Diseño               | Cuasi experimental (transversal)                                          |                                                                                                            |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                               |
| Muestra              | Deportistas de deportes colectivos                                        | 8 jugadoras de fútbol semiprofesional de la 2ª División española.                                          | 17 jugadoras de fútbol semiprofesional de la 2ª División española.                                                                                 |                                                                                                                                               |
| Variables analizadas | Tiempo (s)                                                                | Tiempo total (s), SampEn (u. a.)                                                                           |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                               |
| Material             | Variable en función de los estudios                                       | Fotocélulas (haz simple)<br>WIMU 1000 Hz<br>Barras magnéticas                                              | WIMU 1000 Hz<br>Barras magnéticas<br>Cámara de alta velocidad 240 fps                                                                              |                                                                                                                                               |
| Estadística          | Estadística descriptiva básica según las variables analizadas.            | Análisis observacional<br>Estadística descriptiva (promedio/DS/mín/máx)                                    | Shapiro Wilk<br>Análisis de modelos mixtos<br>Correlación de Pearson                                                                               | Kolmogorov Smirnov<br>ICC<br>T-test/Wilcoxon<br>ANOVA/Friedman<br>Tukey/Durbin-Conover<br>Correlación de Pearson/Spearman                     |

FUENTE. Elaboración propia.

### **3.2. *Participantes***

Todos los artículos seleccionados para ser incluidos en la revisión sistemática tomaron como población de estudio individuos que practicaban deportes colectivos.

En cuanto a los sujetos que realizaron los estudios experimentales de la tesis, incluido el ensayo previo, fueron todas jugadoras de fútbol semiprofesionales de la liga española. En concreto, los datos de los estudios 2 y 3 se obtuvieron de una muestra de 17 futbolistas, jugadoras del RCD Espanyol de Barcelona, que se encontraban compitiendo en la 2ª máxima categoría española (Reto Iberdrola). Se incluyeron únicamente jugadoras que estuvieran en dinámica de competición y entrenamiento. La edad promedio de las jugadoras fue de  $19,60 \pm 3,24$  años, con un peso promedio de  $57,50 \pm 6,79$  kg y una altura promedio de  $1,63 \pm 0,06$  m. Los procedimientos cumplieron con la Declaración de Helsinki (2013) y fueron aprobados por el Comité de Ética local (005/CEICEGC/2021). Todas las participantes dieron su consentimiento informado antes de participar en el estudio.

### **3.3. *Material***

En la revisión sistemática del estudio 1, el material utilizado en los diferentes estudios incluidos difirió en función del estudio, siendo habitual el uso de fotocélulas como material de medición del resultado de los test.

En referencia a los estudios experimentales que componen la tesis, en el ensayo previo se utilizaron 4 pares de fotocélulas de haz simple de tipo reflector (Witty System, Microgate, Italia) para el cálculo del

tiempo, 1 cámara portátil de alta velocidad (Casio Exilim EX-ZR100) para grabación a 240 fps que nos permitió comprobar que la señal cortada correspondía con la salida marcada en la hoja de registro, 2 dispositivos WIMU (Realtrack Systems, Almería, España) con un acelerómetro triaxial de 100 G, con capacidad de registro a una frecuencia de 1000 Hz, y un magnetómetro 3D con capacidad de registro a 100 Hz que nos permitió extraer la señal de acelerometría de cada salida y cortar mediante el magnetómetro las señales de paso por las puertas, donde se utilizaron 8 barras magnéticas de 33 mm de diámetro y 267 mm de altura (D33 mm × 267 mm, ND35, A. C. Magnets 98, Barcelona, España) para calcular el tiempo de paso en cada una de las salidas mediante el método Magnet-Based Timing System (Pérez-Chirinos et al., 2021).

En los estudios 2 y 3 de la tesis se utilizó el mismo material empleado en el ensayo previo, a excepción de las fotocélulas, que fueron remplazadas finalmente por imanes para calcular el tiempo de paso de las jugadoras a través de la señal obtenida en el magnetómetro del WIMU cuando las jugadoras cruzaban el campo magnético. Este método de cálculo ha demostrado ser altamente fiable y de mayor comodidad en su montaje y utilización que las células fotoeléctricas (Pérez-Chirinos et al., 2021).

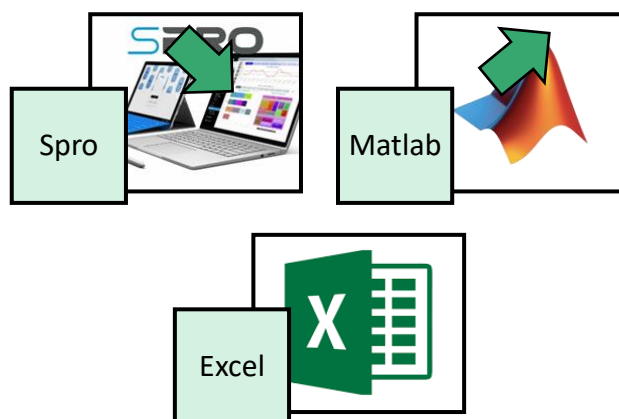
### **3.4. *Análisis de datos***

Se utilizó el método PRISMA para efectuar la revisión sistemática. Se realizó una búsqueda bibliográfica en Pubmed, Sportdiscuss y Cochrane, y seguidamente un proceso de selección mediante los criterios de inclusión y exclusión determinados para definir los

artículos finales que compondrían el estudio. Una vez seleccionados los artículos, se realizó un análisis de la calidad metodológica de los estudios mediante el uso de dos escalas diferentes, una para valorar la calidad de los estudios observacionales de cohorte y transversales (NHLBI, 2014) y otra para los estudios experimentales (Brughelli et al., 2008). A partir de los resultados de los estudios elegidos para formar parte de la revisión se realizó la extracción de datos de las variables de fiabilidad y validez de los seleccionados a través de la ordenación de los estudios en Excel (Versión 2212, Microsoft, Redmond, WA, USA).

En cuanto al análisis de datos del ensayo previo y de los estudios 2 y 3 que componen la tesis, se combinó el uso de diferentes programas (figura 11).

Figura 11. Esquema de los programas utilizados para analizar los datos



FUENTE. Elaboración propia.

En primer lugar, se obtuvo la señal en crudo del dispositivo WIMU y mediante el *software* propio del WIMU Spro (RealtrackSystems, Almería, España) se extrajeron los datos de aceleración total (*at*), sincronizando dicha señal con la del magnetómetro para realizar el corte de la señal correspondiente al paso entre las puertas del test delimitadas con imanes (Pérez-Chirinos et al., 2021). Una vez realizados todos los cortes se extrajeron los datos en un Excel (Versión 2212, Microsoft, Redmond, WA, USA) para finalmente calcular el tiempo de paso en base a los cortes de la señal marcada por los picos del magnetómetro, y la entropía muestral (SampEn) de la señal de acelerometría mediante rutinas dedicadas programadas en Matlab® (The MathWorks, Massachussets, USA). La fórmula utilizada para el cálculo se extrajo de Richman & Moorman (2000):

- 1) Formamos un vector  $m$ ,  $X(1)$  hasta  $X(N - m + 1)$  definido como:

$$X(i) = [x(i), x(i + 1), \dots, X(i + m - 1)] \quad i = 1, N - m + 1$$

- 2) Definimos para cada  $I$ , por  $i = 1, N-m$

$$B_i^m(r) = \frac{1}{N - m + 1} \times n^\circ \text{ of } d_m[X(i), X(j)] \leq r, i \neq j$$

- 3) Definimos para cada  $I$ , por  $i=1, N-m$

$$A_i^m(r) = \frac{1}{N - m + 1} \times n^\circ \text{ of } d_{m+1}[X(i), X(j)] \leq r, i \neq j$$

- 4) Después definimos

$$B^m(r) = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} B_i^m(r)$$

$$A^m(r) = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} A_i^m(r)$$

5) Finalmente, se calcula la SampEn:

$$SampEn(m, r, N) = -\ln\left(\frac{A^m(r)}{B^m(r)}\right)$$

### 3.5. *Análisis estadístico*

En el estudio 1 de la tesis de revisión sistemática se extrajeron los datos de los diferentes estudios incluidos para su descripción, consistentes en la mayoría de los casos en análisis de correlación intraclase, análisis de varianza y tamaños del efecto. En algunos casos se calcularon porcentajes y promedios para incluirlos en la tabla resumen de los resultados de cada estudio. En el ensayo previo se llevaron a cabo análisis descriptivos básicos mediante Excel (versión 2212, Microsoft, Redmond, WA, USA) para calcular promedios, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos. En el estudio 2 se utilizó el programa estadístico SAS (versión 9.3, SAS Institute Inc, Cary, NC, USA) y se realizó el cálculo de normalidad de las variables mediante Shapiro-Wilk, posteriormente se aplicó un modelo lineal mixto para su análisis. Además, se calculó la relación entre tiempo total y entropía mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Por último, en el estudio 3 se empleó el software SPSS

(versión 2212, Microsoft, Redmond, WA, USA) para realizar el análisis estadístico completo. En primer lugar, se llevó a cabo el análisis de la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. En base a los resultados de la misma, se aplicaron ANOVA y comparaciones *post hoc* mediante Tukey para analizar los datos de entropía que sí cumplían con la normalidad, además de realizar el análisis de correlación mediante Pearson. En el caso de las variables de tiempo que no mostraban normalidad, se utilizó el test de Friedman con comparación a pares *post hoc* mediante Durbin-Conover y análisis de correlación de Spearman.



## **4. Estudios de la tesis**

---



### 4.1. *Estudio 1*

**Título:** Assessing the Reliability and Validity of Agility Testing in Team Sports: A Systematic Review.

**Citación:** Morral-Yepes, M., Moras, G., Bishop, C., Gonzalo-Skok, O. (2020). Assessing the Reliability and Validity of Agility Testing in Team Sports: A Systematic Review. Journal of Strength and conditioning research.

**DOI:** 10.1519/JSC.0000000000003753.

**Información de la revista:**

Journal of Strength and conditioning research

ISSN: 1064-8011

Categoría: Sport Sciences

Factor de impacto: 3.781

Cuartil: Q1



# Assessing the Reliability and Validity of Agility Testing in Team Sports: A Systematic Review

Mónica Morral-Yepes,<sup>1</sup> Gerard Moras,<sup>1</sup> Chris Bishop,<sup>2</sup> and Oliver Gonzalo-Skok<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Physical Education of Catalonia (INEFC), GRAFIS Research Group, Spain; <sup>2</sup>London Sport Institute, School of Science and Technology, Middlesex University, London, United Kingdom; and <sup>3</sup>Faculty of Health Sciences, University of San Jorge, Zaragoza, Spain

## Abstract

Yepes, MM, Feliu, GM, Bishop, C, and Gonzalo-Skok, O. Assessing the reliability and validity of agility testing in team sports: A systematic review. *J Strength Cond Res* XX(X): 000–000, 2020—The aims of this systematic review were to (a) examine the reliability of the reactive agility tests and (b) analyze the discriminatory validity of the agility tests. A literature search was conducted following the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). We explored PubMed, SPORTDiscus, and Cochrane Plus databases looking for articles about agility in team sports. After filtering for article relevance, only 42 studies met the inclusion criteria; 37 of which assessed the reliability of agility tests and 22 assessing their validity. Reliability showed a high intraclass correlation coefficient (ICC) in almost all studies (range 0.79–0.99) with the exception of 2 studies. In addition, other studies also assessed the reliability of decision time (ICC = 0.95), movement time (ICC = 0.92), and decision accuracy (ICC = 0.74–0.93), all of which exhibited acceptable reliability. Furthermore, these data show high discriminatory validity, with higher performance level players being faster than lower performance level players (mean = 6.4%, range = 2.1–25.3%), with a faster decision time (mean = 23.2%, range = 10.2–48.0%) with the exception of 1 study, and better decision accuracy (mean = 9.3%, range = 2.5–21.0%). Thus, it can be concluded that reactive agility tests show good reliability and discriminatory validity. However, most agility tests occur in simple contexts whereby only 2 possible responses are possible. Therefore, future research should consider creating more specific and complex environments that challenge the cognitive process of high-level athletes.

**Key Words:** reactive agility, performance, decision-making, speed, change of direction

## Introduction

Team-sports performance depends on both physical and cognitive factors. Players in team sports must constantly adapt their movements and actions to different game situations (1,5,8,13,48,52,53,58), highlighting the importance of agility, a concept which has evolved over time. Traditionally, agility has been defined as the ability to change direction quickly without taking into account the response to an external stimulus (2,15,35,39), and its importance in team-sports performance, where changes in movement patterns are constant (5,69), has been proven in many studies (25,37,45,53,75). However, Sheppard and Young (64) proposed a change in the paradigm arguing that changing direction always occur as a consequence to a specific sporting stimulus. Thus, the definition of agility was expanded taking into account both motor and cognitive factors, defining it as “a rapid whole-body movement with change of velocity or direction in response to a stimulus” (64). This definition recognizes that both physical qualities and decision-making processes encompass the definition of true agility. Furthermore, it seems logical to think that the inclusion of cognitive factors should also be a determining factor in agility performance for team-sports athletes. In recent years, there have

been an increase in the number of studies researching reactive agility (RA) (3,4,9,14,16,19,26,29,30,47,60,65,67). These studies have aimed to determine the discriminatory validity of the tests at different performance levels (16,21,23,30,31,38,44,45,49,52,58,71,73,74), determining the factors that may affect RA ability (17,24,55,56,68,69,75) and its trainability (6,10,18,26,33,46,72). Furthermore, many of these studies have identified agility as being a different athletic quality to change-of-direction speed (12,20,40,44,51,57,66).

To understand the influence of both physical and cognitive factors, some studies (22,25,26,58) evaluated not only the time to complete the test but also the decision time referred to as the time difference between the appearance of the elicited stimulus to the first response of the athlete, and decision accuracy defined as whether a player chose the correct timing gate, in response to a given stimulus (22).

In 2015, Paul et al. (48) published a review about testing, training, and factors impacting agility performance. However, since 2015, a substantial amount of new research has been published, with new methods of evaluating and training agility, such as the SpeedCourt and the “Stop’n’Go” agility tests. Therefore, a more up-to-date review encompassing new investigations relating to agility is warranted.

Therefore, the aims of this systematic review are to (a) examine the reliability of the RA tests used so far and (b) analyze the discriminatory validity of the agility tests in relation to their ability to discriminate between different population groups

Address correspondence to Mónica Morral Yepes, monicamorralyepes@gmail.com.

*Journal of Strength and Conditioning Research* 00(00)/1–15

© 2020 National Strength and Conditioning Association

(basically between different performance levels, age groups, or type of sports) in team-sports players.

## Methods

### Experimental Approach to the Problem

This systematic review was performed following the systematic review methodology proposed in the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) statement (43), as presented in Figure 1. This study is exempt from ethical approval, as the authors collected and synthesized data from previous studies in which informed consent was already obtained by study researchers. Thus, this study was not approved by any institutional review board. Studies were identified by searching within the electronic databases of PubMed, Cochrane Plus, and SportDiscus (SportDiscus + MEDLINE). The search was conducted up to and including 7 January, 2019. The key words used in the search were “reactive agility,” “agility,” “team sports,” and “test.” The specific search strategy for PubMed was: (agility AND “team sports” with the additional filter of “Humans”). The specific search strategy for SportDiscus was: (agility AND “team sports”). The specific search strategy for Cochrane Plus was: (agility AND “team sports”) in title, abstract, or key words.

Also, reference lists of retrieved full-text articles and recent reviews were examined to identify additional articles not found by the initial search.

### Procedures

A review was performed on the selection of the studies in 2 consecutive screening phases. The first phase consisted of screening for (a) duplicates, (b) title, and (c) abstract. The second phase involved screening the full paper using the aforementioned inclusion criteria.

**Inclusion and Exclusion Criteria.** Eligibility criteria for inclusion in final analysis required one or both of the following: (a) a minimum of 1 test comparing results on 2 separate occasions under similar conditions (enabling reliability to be determined) or (b) a comparison between different levels or playing ability (enabling validity to be determined). Moreover, studies were included if they: (a) were written in English or Spanish, (b) were published in peer-reviewed journals, (c) used an agility test whereby subjects performed a change of direction or velocity in response to a cognitive stimulus, or (d) used subjects who were actively involved in team sports. Studies published in other languages, used unpublished data, reported results in animals, used subjects not

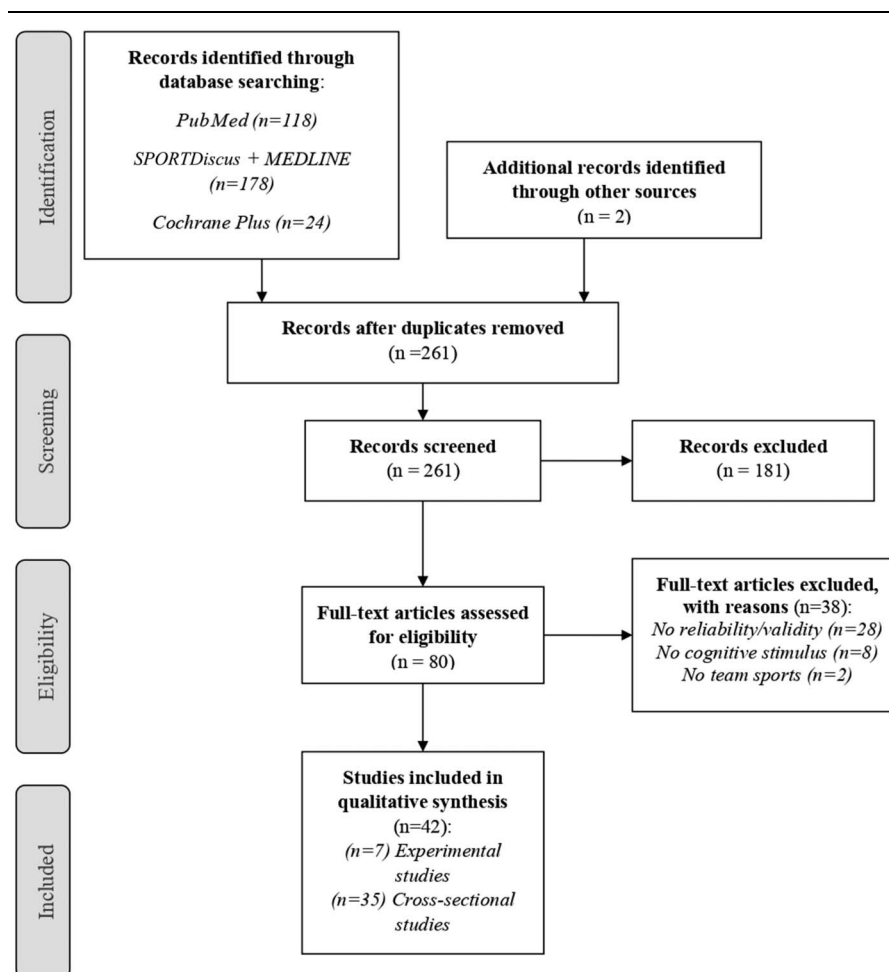


Figure 1. Flow diagram of study identification and exclusion process.

involved in team sports, or used agility tests that did not determine the reaction time or reliability/validity in response to a cognitive stimulus were excluded.

No exclusions were made based on the study design. Therefore, experimental and cross-sectional studies assessing reliability, which compared the results of a test in 2 separate sessions or the validity of a given test comparing results between different groups, were included in this review.

**Quality Assessment.** The methodological quality of studies was assessed using 2 different tools. For quality assessment of cross-sectional studies, we used the “quality assessment tool for observational cohort and cross-sectional studies” proposed by the National Heart, Lung, and Blood Institute (63) (NIH National Heart, Lung, and Blood Institute, website), grading articles on a scale of 14 points. The scale used to assess training interventions was adopted from a modified quality assessment screening scoring system proposed by Brughelli et al. (8). This is a 10-item scale (with a scoring range of 0–20) designed for rating the methodological quality of training intervention studies.

## Results

### Included Studies

The initial search from the different databases procured 322 articles and 2 more articles were identified through additional sources, giving a total of 324 records. After removing duplicates, 261 publications were kept for the article selection process. These 261 articles were screened for title and abstract relevance, which resulted in the exclusion of 181 articles. Subsequently, 80 full-text articles remained and were screened for eligibility using the inclusion and exclusion criteria, resulting in a further 38 articles being excluded. Twenty-eight were removed because they did not report any reliability or validity data, 8 were removed because the selected test did not use a cognitive stimulus, and 2 were removed because subjects were not team-sports athletes. This left 7 experimental studies and 35 cross-sectional studies, which were included in this systematic review after applying the appropriate quality scoring assessment.

### Quality Assessment Results

Thirty-five studies were assessed using the “quality assessment tool for observational cohort and cross-sectional studies” proposed by the National Heart, Lung, and Blood Institute (NIH National Heart, Lung, and Blood Institute, website). From a maximum of 14 points, scores ranged from 3 to 6, with the exception of 2 studies: one that scored 2 points (Henry et al. (31)) and one that scored a single point (Gabbett and Benton (22)). Because this tool is not intended for sports sciences, the results obtained in the quality scoring assessment appear low; however, as the analyzed studies are descriptive in nature, some of the criteria were not applicable because of the type of variables measured (e.g., exposures measured only once over time or drop-outs after baseline). Thus, the questions related to these variables were deleted from the scale (questions 6, 7, 8, 10, and 13), and the highest attainable score was 9. Furthermore, additional information such as the eligibility of subjects or blinding assessors was not always reported.

Seven studies were assessed using the scale used to assess training interventions proposed by Brughelli et al. (8). Quality scores ranged from 13 to 17, with the exception of 1 study that

scored 8 points (Bullock et al. (9)). Most studies provided a detailed description of their methods and interventions and also used appropriate statistical analyses. However, some studies did not include inclusion and exclusion criteria (6,9,37,72), a control group (9), or test groups for similarity during baseline protocols (9–11,33,37,72).

### Study Characteristics

**Reliability.** A total of 37 studies assess the reliability of agility tests (Table 1). In total, 1724 subjects (median = 36, maximum = 500, and minimum = 8) were studied. Of these, the majority of the subjects were males (1,541), with only 183 subjects being females. In addition, studies determined test reliability using a wide range of sporting populations. Specifically, 12 studies used rugby or Australian football players, 9 studies used soccer athletes, and 8 studies used basketball athletes. Furthermore, 2 studies used handball and netball players, respectively, and 2 with 1 study using softball players. Subject ages ranged from 10 to 28 years (mean = 18). The level of competition of subjects ranged from amateur to professional players, with most studies using high performance level players (e.g., professional or national level).

**Validity.** A total of 22 studies assessed the validity of agility tests (Table 2) by determining differences in performance levels on any given test. In total, 1,554 subjects (mean = 40, maximum = 500, and minimum = 12) were studied. Of these, the majority of the subjects were males (1,450), with only 104 subjects being females. In addition, most studies determined test validity using rugby or Australian football players (9 studies), followed by soccer (5 studies) and basketball players (3 studies). Furthermore, 1 study was conducted using handball players, 1 with netball players, 1 with softball players, and 1 with hockey players. Subject ages ranged from 10 to 27 years (mean = 17), with the level of competition ranging from amateur to professional. Most studies compared between performance levels, with the exception of 3 studies that compared between different age groups and 1 that compared between agility-saturated sports (referring to a sport in which athletes have to constantly change of direction in response to a specific sporting situation such as team, combat, or racket sports) and non-agility-saturated sports (such as track sports, swimming, and gymnastics).

**Study Findings.** Seventy-five percent of the studies included tests in which Y-shaped or T-shaped tasks were used, where athletes had to respond to a light (16 studies), human (16 studies), or video (7 studies) stimulus. In 32 of the tests (10–12,19,24,25,27–29,31,38,41,47,49,55–62,65,67,69,71–74), each athlete had to perform either a single 45 or 90° change of direction. However, in the more recent literature, most studies included more than a single change of direction or more than one reaction to a given stimulus. The distance of the tests ranged between 5 and 159 m, but most had a distance that ranged between 7 and 12 m. When reporting test reliability, the intraclass correlation coefficient (ICC) was reported, considering a value of 0.75 or above as an indicator of a good reliability (50). For RA tests using a light stimulus, the ICC ranged between 0.79 and 0.91, and for tests using a human stimulus, the ICC ranged between 0.79 and 0.99, with the exception of Holding et al. (33) who used a real situation simulating a 1 vs. 1, reporting an ICC of 0.64. When considering a video stimulus, the ICC ranged between 0.81 and 0.83, except Young et al. (74) who compared between a video in response to

**Table 1****Study characteristics regarding the reliability of the agility test.\***

| Study<br>Author                | QA  | Population |          |                          |                      |                    | Description                                                                                                                                                                                                                                                            | Test    |           |              |          | Results<br>Reliability                                                                                                         |
|--------------------------------|-----|------------|----------|--------------------------|----------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------|--------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |     | <i>n</i>   | <i>G</i> | Age                      | Sport                | Level              |                                                                                                                                                                                                                                                                        | Stimuli | No of CoD | <i>d</i> (m) | (°)      |                                                                                                                                |
| Bekris et al. (2018)<br>(3)    | 6†  | 500        | M        | U16<br>U14<br>U12<br>U10 | Soccer               | Local              | A 7 × 7 square area. In the center of the big square, another small square. An athlete started inside of the central square and had to run to the lit gate with the ball and go to the central square to go to the next lit gate 8 times.                              | Light   | 16        | ≈60 m        | ≠        | ICC = 0.90                                                                                                                     |
| Benvenuti et al.<br>(2010) (4) | 4†  | 30         | F        | 23 ± 6                   | Futsal and soccer    | Regional           | Four lights placed at the corners of a 7.5 × 7.5 square. Players had to react to 6 light stimuli.                                                                                                                                                                      | Light   | 12        | ≈51 m        | ≠        | ICC = 0.80                                                                                                                     |
| Born et al. (2016) (6)         | 15‡ | 19         | M        | 14 ± 0.6                 | Soccer               | High-level youth   | SpeedCourt (11). The court had 9 plates forming a square. The player had to touch a sequence of 11 contact plates.                                                                                                                                                     | Light   | 9         | ≈35 m        | 10°–180° | <i>r</i> = 0.94<br>CV = 2.51                                                                                                   |
| Bullock et al. (2012)<br>(9)   | 8‡  | 42         | M        | 18.5 ± 3.5               | Soccer               | High-level amateur | Reactive motor skill test including 5 m speed, a passing task, and reactive agility in response to a video.                                                                                                                                                            | Video   | 1         | ≈20 m        | 45°      | TT (CV = 2.4%)<br>RAT (CV = 2.3%)                                                                                              |
| Chaalali et al. (2016)<br>(10) | 17‡ | 32         | M        | 14.5 ± 0.9               | Soccer               | National league    | Y-shaped agility test in reaction to the tester movement. It was performed with and without ball dribbling.                                                                                                                                                            | Human   | 1         | ≈8–9 m       | ≈90°     | RAT (ICC = 0.867,<br>CV = 1.99%, and<br><i>SEM</i> = 0.018)<br>RATball (ICC =<br>0.861, CV = 2.03%,<br>and <i>SEM</i> = 0.027) |
| Cochrane (2013) (11)           | 16‡ | 8          | F        | 20 ± 1.2                 | Netball              | High level         | Y-shaped agility test in reaction to a light stimulus.                                                                                                                                                                                                                 | Light   | 1         | ≈5 m         | 45°      | ICC = 0.863<br>CV = 7.1%                                                                                                       |
| Čoh et al. (2018) (12)         | 5†  | 45         | M        | 21.2 ± 1.78              | Team-sports athletes | College level      | Four ≠ RA test in reaction to a light stimulus:                                                                                                                                                                                                                        | Light   | 8 to 12   | ≈30–40 m     | ≠        | ICC = 0.81–0.85                                                                                                                |
|                                |     | 31         | F        | 20.6 ± 1.27              |                      |                    | 1—Frontal: 6 possibilities to CoD in an open square C.<br>2—Universal: CoD to lateral (90°) and diagonal (45°).<br>3—Semicircular: semicircle.<br>4—Lateral: CoD to 90° at the right or left                                                                           |         |           |              |          |                                                                                                                                |
| Drake et al. (2017)<br>(14)    | 3†  | 28         | M        | 19.3 ± 2.2               | Rugby                | Professional       | 1v1 agility test. In a square 12 × 12 m. There were an attacker and a defender, one opposite the other. The attacker had to ground the ball in the defensive line, whereas the defender tried to tackle him. The outcome result is measured by an observational score. | Human   | ≠         | ≈12 m        | ≠        | CI = 0.816–0.917<br>(interrater reliability)                                                                                   |

**Table 1****Study characteristics regarding the reliability of the agility test.\*** (Continued)

| Study Author               | QA  | Population |          |                                           |                                       |                                                                                   | Test                                                                                                                                                                                                                      |                |           |              |          | Results Reliability                                                                                                                 |
|----------------------------|-----|------------|----------|-------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|--------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |     | <i>n</i>   | <i>G</i> | Age                                       | Sport                                 | Level                                                                             | Description                                                                                                                                                                                                               | Stimuli        | No of CoD | <i>d</i> (m) | (°)      |                                                                                                                                     |
| Duking et al. (2016) (16)  | 4†  | 30         | F        | 19 ± 3                                    | Handball                              | 4th National League                                                               | SpeedCourt (8, 15, and 43). The court had 9 plates forming a square. Athletes started at the central plate and had to run and touch with their toe the illuminated plate over 8, 15, or 43 times (depending on the test). | Light          | 8 to 43   | ≈25–140 m    | ≠        | SC8 TT (ICC = 0.86 and CV = 2.6%)<br>SC15 TT (ICC = 0.86 and CV = 2.4%)<br>SC43 TT (ICC = 0.79 and CV = 2.7%)                       |
|                            |     |            | M        |                                           | Soccer                                | 2nd National League                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |                |           |              |          |                                                                                                                                     |
| Farrow et al. (2005) (19)  | 4†  | 32         | M        | 19.5 ± 0.79<br>16.4 ± 1.94<br>28.1 ± 2.58 | Netball                               | Australian Institute of Sport<br>National and talent identification<br>Club level | Y-shaped agility test in reaction to a video. It started with a 4 m side-step to the left, followed by 2 m to the right. Then, they had to sprint forward for 1m approx. and react to the stimulus shown in the video.    | Video          | 3         | ≈11 m        | 45°, 90° | ICC = 0.83                                                                                                                          |
| Gabbett et al. (2007) (26) | 4†  | 10         | M        | 19 ± 1                                    | Softball                              | State                                                                             | Reaction to a video of a batter with stops at different moments of the video. The player had to move where s/he thought the ball was going.                                                                               | Video          | ≠         | NR           | ≠        | DA (ICC = 0.74 and TEM = 3.3%)<br>DT (ICC = 0.99 and TEM = 4.7%)                                                                    |
| Gabbett et al. (2008) (27) | 13‡ | 14         | M        | 16.3 ± 0.7                                | Basketball                            | Scholarship                                                                       | Y-shaped agility test in reaction to the tester movement.                                                                                                                                                                 | Human          | 1         | ≈8–9 m       | ≈90°     | ICC = 0.88<br>TEM = 0.05                                                                                                            |
| Gabbett et al. (2008) (25) | 5†  | 42         | M        | 23.6 ± 5.3                                | Rugby                                 | First grade<br>Second grade                                                       | Y-shaped agility test in reaction to a tester movement.                                                                                                                                                                   | Human          | 1         | ≈8–9 m       | ≈90°     | MT (ICC = 0.92)<br>DT (ICC = 0.95)<br>RA (ICC = 0.93)                                                                               |
| Gabbett et al. (2011) (24) | 6†  | 58         | M        | 23.8 ± 3.8                                | Rugby                                 | National league                                                                   | Y-shaped agility test in reaction to the tester movement.                                                                                                                                                                 | Human          | 1         | ≈8–9 m       | ≈90°     | DA (ICC = 0.93 and TEM = 3.9%)<br>DT (ICC = 0.95 and TEM = 7.8%)                                                                    |
| Gabbett et al. (2012) (28) | 5†  | 66         | M        | 23 ± 4                                    | Rugby                                 | Professional                                                                      | Y-shaped agility test in reaction to the tester movement.                                                                                                                                                                 | Human          | 1         | ≈8–9 m       | ≈90°     | DA (ICC = 0.93 and TEM = 3.9%)<br>DT (ICC = 0.95 and TEM = 7.8%)<br>PR (ICC = 0.8 and TEM = 9.3%)<br>PP (ICC = 0.85 and TEM = 8.7%) |
| Green et al. (2011) (29)   | 4†  | 28         | M        | 19 ± 1.3<br>19 ± 1.67                     | Rugby                                 | Academy group<br>Club level                                                       | Y-shaped agility test in reaction to a light stimulus.                                                                                                                                                                    | Light          | 1         | ≈10 m        | 45°      | ICC = 0.88                                                                                                                          |
| Henry et al. (2011) (31)   | 2†  | 42         | M        | 18 ± 1<br>18 ± 0                          | Australian football and nonfootballer | National league<br>Amateur                                                        | Y-shaped agility test in reaction to a light or a video.                                                                                                                                                                  | Video or light | 1         | ≈11 m        | 45°      | RAT video (ICC = 0.81 and CV = 1.4%)<br>Intrarater DT (ICC = 0.98 and CV = 5.2%)                                                    |
| Holding et al. (2017) (33) | 17‡ | 30         | M        | 14.6 ± 1.09                               | Rugby                                 | U-15 and U-17 national                                                            | 1v1 agility test. In a 9 × 6 m rectangle. An attacker and                                                                                                                                                                 | Human          | ≠         | ≈10 m        | ≠        | ICC = 0.638<br>CV = 16–19.9%                                                                                                        |

**Table 1****Study characteristics regarding the reliability of the agility test.\*** (Continued)

| Study<br>Author                  | QA  | Population |          |             |                                                     |                  | Description                                                                                                                                                                                                                                                                      | Test           |           |              |                    | Results<br>Reliability                                                            |
|----------------------------------|-----|------------|----------|-------------|-----------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|--------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|                                  |     | <i>n</i>   | <i>G</i> | Age         | Sport                                               | Level            |                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Stimuli        | No of CoD | <i>d</i> (m) | (°)                |                                                                                   |
| Lockie et al. (2014)<br>(38)     | 14† | 10         | M        | 21.4 ± 3.13 | Basketball                                          | Semiprofessional | a defender, one opposite the other. The attacker had to move when he wanted to cross to the right or left lateral line.                                                                                                                                                          | Light          | 1         | ≈10 m        | 45°                | RATL-RATR ( <i>r</i> = 0.59)<br>ICC = 0.79–0.92<br>TEM = 0.04–0.08                |
| Meir et al. (2014)<br>(41)       | 4†  | 10         | M        | 23.2 ± 4.66 |                                                     | Amateur          | Y-shaped agility test in reaction to a light stimulus.                                                                                                                                                                                                                           | Human          | 1         | ≈20 m        | 45°                |                                                                                   |
|                                  |     | 14         | M        | 22.5 ± 2.1  | Rugby                                               | Amateur          | Y-shaped agility test in reaction to the tester movement. The athlete had to move to the opposite gate where the tester was moving with or without carrying a ball.                                                                                                              |                |           |              |                    |                                                                                   |
| Oliver and Meyers<br>(2009) (47) | 3†  | 17         | M        | 20.3 ± 0.7  | Rugby, hockey, soccer, athletics, and racket sports | Students         | Y-shaped agility test in reaction to a light stimulus. The athlete can run to the left, to the right, or straight.                                                                                                                                                               | Light          | 1         | ≈10 m        | 45°                | CV = 3% (CI 2.5–3.7)                                                              |
| Pojskic et al. (2018)<br>(49)    | 6†  | 10         |          |             | Soccer                                              | U-19 top class   | Y-shaped test with 4 possible CoD (45° and 90°). The athlete had to assess which cone was lit, run to that particular cone, kick the ball placed at the top of the cone, and return to the start line over 5 times in response to 5 light stimuli.                               | Light          | 20        | ≈40 m        | 45°, 90°, and 180° | ICC = 0.7–0.88<br>CV = 3.66–6.14%                                                 |
|                                  |     | 10         | M        | 17 ± 0.9    |                                                     | U-17 top class   |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                |           |              |                    |                                                                                   |
| Sattler et al. (2015)<br>(55)    | 3†  | 39         | M        |             | Agility-saturated sports                            | College level    | Y-shaped test with 4 possible CoD (45° and 90°) to the right or to the left. The athlete had to assess which cone was lit, run to that particular cone, touch the top of it with their preferred hand, and return to the start line over 3 times in response to 3 light stimuli. | Light          | 12        | ≈24 m        | 45°, 90°, and 180° | ICC = 0.81<br>ICC = 0.84                                                          |
|                                  |     | 34         | F        | 21.9 ± 1.9  |                                                     |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                |           |              |                    |                                                                                   |
| Scanlan et al. (2013)<br>(56)    | 6†  | 12         | M        | 25.9 ± 6.7  | Basketball                                          | State level      | Y-shaped agility test in reaction to the tester movement.                                                                                                                                                                                                                        | Human          | 1         | ≈7 m         | ≈90°               | ICC = 0.89–0.99<br>and CV = 1.9–2%<br>Tester rater video (ICC = 1 and CV = 0.69%) |
| Scanlan et al. (2014)<br>(57)    | 6†  | 12         | M        | 25 ± 9      | Basketball                                          | Semiprofessional | Y-shaped agility test in reaction to the tester movement.                                                                                                                                                                                                                        | Human          | 1         | ≈7 m         | ≈90°               | ICC = 0.89–0.99<br>CV = 1.9–2%                                                    |
| Scanlan et al. (2014)<br>(59)    | 6†  | 12         | M        | 25.9 ± 6.7  | Basketball                                          | Semiprofessional | RAT light: Y-shaped agility test in reaction to a light stimulus.<br>RAT opponent: Y-shaped agility test in reaction to a tester movement.                                                                                                                                       | Light<br>Human | 1         | ≈7 m         | ≈90°               | ICC = 0.81–0.91<br>and CV = 2.9–5%<br>NR                                          |
|                                  | 5†  | 12         | M        | 25.9 ± 6.7  | Basketball                                          |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Human          | 1         | ≈7 m         | ≈90°               |                                                                                   |

**Table 1****Study characteristics regarding the reliability of the agility test.\*** (Continued)

| Study<br>Author                | QA  | Population |        |                              |                                |                                                                   | Test                                                                                                                                                                                                                                                                     |         |           |              |                       | Results<br>Reliability                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------|-----|------------|--------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------|--------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |     | <i>n</i>   | G      | Age                          | Sport                          | Level                                                             | Description                                                                                                                                                                                                                                                              | Stimuli | No of CoD | <i>d</i> (m) | (°)                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Scanlan et al. (2015)<br>(58)  |     |            |        |                              |                                | State-level starters<br>(HPL)<br>State-level<br>nonstarters (LPL) | Y-shaped agility test in reaction to<br>the tester movement.                                                                                                                                                                                                             |         |           |              |                       | ICC = 0.89–0.99<br>and CV = 1.9–2%<br>Tester rater video<br>(ICC = 1 and CV =<br>0.69%)                                                                                                                                                             |
| Sekulic et al. (2014)<br>(60)  | 5†  | 57         | F<br>M | 18–24                        | Team sports<br>Non–team sports | Agility-saturated<br>sports<br>Non–agility-<br>saturated sports   | Y-shaped test with 4 possible CoD<br>(45° and 90°) to the right or to the<br>left. The athlete had to assess<br>which cone was lit, run to that<br>particular cone, touch the top of it<br>with their preferred hand, and<br>return to the start line over 2–5<br>times. | Light   | 8 to 20   | ≈16–40 m     | 45°, 90°,<br>and 180° | Male: ICC = 0.81<br>and CV = 4%<br>Women: ICC = 0.86<br>and CV = 4%                                                                                                                                                                                 |
| Sekulic et al. (2017)<br>(61)  | 5†  | 58<br>52   | M      | 21.58 ± 3.92                 | Basketball                     | Professional<br>Semiprofessional                                  | Y-shaped agility test in reaction to<br>a light stimulus. The player had to<br>go to the lit cone, rebound the ball<br>placed at the top of the cone, and<br>return to the start line as quickly as<br>possible.                                                         | Light   | 3         | ≈8 m         | 45°                   | Intrasession: ICC<br>dom = 0.86 and CV<br>= 5.2%; ICC nond =<br>0.85 and CV = 5%<br>Inter-session: ICC<br>dom = 0.88 and CV<br>= 5.6%; ICC nond =<br>0.81 and CV = 5.4%<br>TT (ICC = 0.82)<br>PRT (ICC = 0.31)<br>Confidence rating<br>(ICC = 0.50) |
| Serpell et al. (2010)<br>(62)  | 3†  | 30         | M      | NR                           | Rugby                          | National league<br>National Youth<br>Competition                  | Y-shaped agility test in reaction to<br>a video. Athletes were instructed<br>to react to the video as they would<br>be in a typical game situation if<br>playing the role of a defender.                                                                                 | Video   | 1         | ≈10 m        | 45°                   | ICC = 0.878<br>Intrarater tester ( <i>r</i> =<br>0.904)<br>ICC = 0.9 and CV =<br>2.4%<br>ICC = 0.85 and CV<br>= 3%                                                                                                                                  |
| Sheppard et al.<br>(2006) (65) | 4†  | 38         | M      | 21.8 ± 3.2                   | Australian football            | National league<br>Reserve league                                 | Y-shaped agility test in reaction to<br>the tester movement.                                                                                                                                                                                                             | Human   | 1         | ≈8–9 m       | ≈90°                  |                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Spasic et al. (2015)<br>(67)   | 4†  | 23<br>26   | F<br>M | 25.14 ± 3.71<br>26.9 ± 4.2   | Handball                       | National league                                                   | T-shaped (90°) to the right or to the<br>left. The athlete had to assess<br>which cone was lit, run to that<br>particular cone, touch the top of it<br>with their preferred hand, and<br>return to the start line over 3 times<br>in response to 3 light stimuli.        | Light   | 12        | ≈33 m        | 90°                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Spiteri et al. (2014)<br>(69)  | 6†  | 12         | F      | 24.25 ± 2.55                 | Basketball                     | Professional                                                      | Y-shaped agility test in reaction to<br>a video while dribbling the ball.                                                                                                                                                                                                | Video   | 2         | ≈14 m        | 45°                   | ICC = 0.81<br>CV = 3.3%                                                                                                                                                                                                                             |
| Trecroci et al. (2016)<br>(72) | 14† | 39         | M      | 10.5 ± 0.30<br>10.7 ± 0.21   | Soccer                         | U11 subelite<br>U11 subelite (CG)                                 | Y-shaped agility test in reaction to<br>the tester movement.                                                                                                                                                                                                             | Human   | 1         | ≈11 m        | 45°                   | ICC = 0.85                                                                                                                                                                                                                                          |
| Trecroci et al. (2018)<br>(71) | 5†  | 20<br>20   | M      | 15.36 ± 0.54<br>15.28 ± 0.60 | Soccer                         | U-16 elite<br>U-16 subelite                                       | Y-shaped agility test in reaction to<br>the tester movement.                                                                                                                                                                                                             | Human   | 1         | ≈11 m        | 45°                   | ICC = 0.87 and CV<br>= 95%<br>CV = 2% and <i>SEM</i><br>= 0.02 s                                                                                                                                                                                    |

**Table 1**  
Study characteristics regarding the reliability of the agility test.\* (Continued)

| Study<br>Author             | Population |          |   |              |                     | Test                                  |                                                                                                                                                                                            |                         |           | Results<br>Reliability |       |                                                                                                           |
|-----------------------------|------------|----------|---|--------------|---------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | QA         | n        | G | Age          | Sport               | Level                                 | Description                                                                                                                                                                                | Stimuli                 | No of CoD |                        | d (m) | (°)                                                                                                       |
| Veale et al. (2010)<br>(73) | 4†         | 20       | M | 17.44 ± 0.55 | Australian football | U-18 elite                            | Y-shaped agility test in response to a tester movement. The athlete had to move to the same gate where the tester was moving and then continue to the end of the next gate in front of it. | Human                   | 2         | ≈12 m                  | 45°   | r = 0.91                                                                                                  |
| Young et al. (2011)<br>(75) | 4†         | 35<br>15 | M | 15–17        | Australian football | Elite junior<br>Secondary school team | Y-shaped agility test in reaction to a video.                                                                                                                                              | Video (arrow/<br>human) | 1         | ≈8 m                   | 45°   | Human (IOC = 0.33<br>and CV = 2.7%)<br>Arrows (IOC = 0.10<br>and CV = 3.4%)<br>Human/arrows (r =<br>0.50) |

\*†) = angle; ATL = agility time left; ATR = agility time right; CG = control group; CI = confidence interval; CoD = change of direction; CV = coefficient of variation; d = distance (m); DA = decision accuracy; dom = dominant; DT = decision time; F = female; HPL = high performance level; LPL = low performance level; ICC = intraclass correlation coefficient; M = male; MT = movement time; nond = nondominant; NR = not reported; PP = pattern recall; PR = pattern prediction; PR = perception and response time; r = Pearson correlation; QA = quality assessment; RA = response accuracy; RAT = reactive agility test; TEM = typical error of measurement; TT = total time.

†Quality assessment tool for observational cohort and cross-sectional studies proposed by the National Heart, Lung, and Blood Institute.  
‡Quality assessment screening scoring proposed by Brughelli et al. (60).

a human movement or the direction of an arrow and reported an ICC of 0.33 and 0.11 for human and arrow stimulus, respectively. The ICC for the decision time showed a value of 0.95, whereas the decision accuracy ranged between 0.74 and 0.93, and the movement time reported an ICC value of 0.92.

Agility tests used in the included studies seem to have a high level of discriminatory validity. All studies found the highest level of test performance in players competing at the highest competition level. Highest performing players were 6.4% faster than their lower performing counterparts, ranging from 2.1 to 25.3%. Furthermore, higher performing players showed a faster decision time (mean = 23.2%, range = 10.2–48.0%), with the exception of Gabbett et al. (23) who found a slower decision time on players of lower performance, perhaps because of the slightest difference in the performance level between groups, confirmed by starters and nonstarters. Players with higher performing levels also had a better score on decision accuracy across the different tests using different stimuli (mean = 9.3%, range = 2.5–21.0%) than lower performing players. Effect size (ES) data were calculated in all studies to determine the magnitude of difference between groups and classified as trivial (<0.2), small (0.2–0.6), moderate (0.6–1.2), large (1.2–2.0), and very large (2.0–4.0) (34), finding in most cases moderate, large, and very large ES (Table 2).

## Discussion

The aims of this systematic review were to examine the reliability of the RA test used so far and to analyze the discriminatory validity of the agility test in relation to their ability to discriminate between different population groups in team-sports players. Good reliability was found in almost all studies regardless of the type of stimulus used (light, human, or video). Also, high discriminatory validity was found, being able to differentiate between different performance levels and different age categories.

A wide variety of studies included in this review evaluated agility through the response to a light as an elicited stimulus (3,4,6,11,12,16,29,31,38,47,49,55,59–61,67). The main advantage of using this stimulus is that the signal can be programmed to appear at the same moment each time throughout the test, which is likely to result in higher levels of reproducibility (48). However, one disadvantage is that access to this type of technology is expensive and arguably impractical. Nevertheless, the number of studies that have determined agility in response to a light stimulus has increased because of improvements in technology (48). This is supported in the current review, which reported reliability data for 16 studies using a light stimulus, in comparison with Paul et al. (48) who reported reliability for 7 studies using a light stimulus. In summary, the evolution of technology has allowed us to assess agility with a high test-retest reliability through more advanced technology systems and with greater accessibility.

The number of studies evaluating agility performance in the past 3 years through a single change of direction in response to a sole cognitive stimulus (11,29,31,38,47,59,61), and using a stop-and-go test in which the player must react consecutively to the appearance of different stimuli (3,4,6,12,16,49,55,60,67), has also increased. Sekulic et al. (60) were the first who introduced this new test named “Stop’n’Go” with the justification that players in team sports have to repeatedly change direction during the game through “Stop’n’Go” movements, including moments of zero velocity. A similar novel method has also appeared recently, namely, the “SpeedCourt.” This test consists of a square formed of 9 plates: 8 of them forming a square and 1 central piece, where the athlete has to

**Table 2****Study characteristics regarding the validity of the agility test.\***

| Study<br>Author                | QA             | Population           |   |                                                              |                     |                                                                                                     | Test               |                          |           |                |            | Results<br>Validity                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------|----------------|----------------------|---|--------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------|-----------|----------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |                | n                    | G | Age                                                          | Sport               | Level                                                                                               | Shape              | Stimuli                  | No of CoD | d (m)          | Angle      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Benvenuti et al.<br>(2010) (4) | 4†             | 30                   | F | 23 ± 6                                                       | Futsal and soccer   | Regional                                                                                            | Square             | Light                    | 12        | ≈51 m          | ≠          | AT: Futsal players 7.8% faster than soccer players (ES = 1.6)<br>DT: Futsal players 36.5% faster than soccer players (ES = 2.4)                                                                                                                                                                                                                                       |
| Bekris et al.<br>(2018) (3)    | 6†             | 500                  | M | U16<br>U14<br>U12<br>U10                                     | Soccer              | Local players                                                                                       | Square (with ball) | Light                    | 16        | ≈60 m          | ≠          | TT: U16 11.3% faster than U14 (ES = 1.2)<br>TT: U16 14.37% faster than U12 (ES = 1.4)<br>TT: U16 25.3% faster than U10 (ES = 2.9)                                                                                                                                                                                                                                     |
| Farrow et al.<br>(2005) (19)   | 4†             | 32                   | M | 19.5 ± 0.79<br>16.4 ± 1.94<br>28.1 ± 2.58                    | Netball             | Australian Institute of Sport (HPL)<br>National and talent identification (MPL)<br>Club level (LPL) | Y-shape            | Video                    | 3         | ≈11 m          | 45°, 90°   | HPL 0.8% faster than MPL (ES = 0.25)<br>HPL 6.8% faster than LPL (ES = 2.07)<br>MPL 6% faster than LPL (ES = 2.29)                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Fiorilli et al.<br>(2017) (21) | 6†             | 35<br>70<br>42<br>39 | M | 17.53 ± 0.32<br>15.59 ± 0.39<br>13.38 ± 0.35<br>11.51 ± 0.48 | Soccer              | U18 (HPL)<br>U16 (MPL1)<br>U14 (MPL2)<br>U12 (LPL)                                                  | Y-shape            | Light                    | 1         | ≈10 m          | 45°        | AT: U18 were faster than U16<br>AT: U16 were faster than U14<br>AT: U14 were faster than U12                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Gabbett and Benton (2009) (22) | 1†             | 24<br>42             | M | 24.5 ± 4.2<br>23.6 ± 5.3                                     | Rugby               | National league (HPL)<br>Recreational (LPL)                                                         | Y-shape            | Human                    | 1         | ≈8–9 m         | ≈90°       | MT: HPL 8.2% faster than LPL (ES = 1.39)<br>DT: HPL 19.7% faster than LPL (ES = 0.62)<br>DA: HPL 7.7% better than LPL (ES = 0.58)                                                                                                                                                                                                                                     |
| Gabett et al.<br>(2007) (26)   | 4†             | 21<br>10<br>9        | M | 19 ± 1                                                       | Softball            | National (HPL)<br>State (MPL)<br>Novice (LPL)                                                       | Free               | Video                    | ≠         | NR             | ≠          | DT: HPL 48% faster than MPL and LPL<br>DA: HPL 4.9% faster than MPL<br>DA: HPL 21% faster than LPL                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Gabbett et al.<br>(2008) (25)  | 5†             | 12<br>30             | M | 23.6 ± 5.3                                                   | Rugby               | First grade (HPL)<br>Second grade (LPL)                                                             | Y-shape            | Human                    | 1         | ≈8–9 m         | ≈90°       | MT: HPL 4.6% faster than LPL (ES = 0.73)<br>DT: HPL 29.3% faster than LPL (ES = 0.54)<br>DA: HPL 5.9% better than LPL (ES = 0.34)                                                                                                                                                                                                                                     |
| Gabbett et al.<br>(2011) (23)  | 6†             | 86                   | M | 23.3 + 3.8                                                   | Rugby               | Professional (HPL)<br>Semiprofessional (LPL)                                                        | Y-shape            | Human                    | 1         | ≈8–9 m         | ≈90°       | DA: HPL 2.5% better than LPL (ES = 0.29)<br>DT: LPL 5.3% faster than HPL (ES = 0.17)                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Green et al.<br>(2011) (29)    | 4†             | 28                   | M | 19 ± 1.3<br>19 ± 1.67                                        | Rugby               | Academy group (HPL)<br>Club level (LPL)                                                             | Y-shape            | Light                    | 1         | ≈10 m          | 45°        | HPL 8.5% faster than LPL (ES = 1.14)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Henry et al.<br>(2012) (30)    | 3†<br>14       | 14<br>M              |   | 23 + 2<br>21 + 2                                             | Australian football | Semiprofessional (HPL)<br>Amateur (LPL)                                                             | Y-shape            | Video                    | 1         | ≈11 m          | 45°        | Feint AT: HPL 5.5% faster than LPL (ES = 0.52)<br>Feint DT1: HPL 10.2% faster than LPL (ES = 0.59)<br>Feint DT2: LPL 2% faster than HPL (ES = 0.07)<br>Feint MT: HPL 12% faster than LPL (ES = 0.56)<br>Nonfeint AT: HPL 2.1% faster than LPL (ES = 0.47)<br>Nonfeint DT1: HPL 12.4% faster than LPL (ES = 0.73)<br>Nonfeint MT: LPL 2.5% faster than HPL (ES = 0.34) |
| Lockie et al.<br>(2014) (38)   | 5†<br>10<br>4† | 10<br>M<br>10        |   | 21.4 ± 3.13<br>23.2 ± 4.66<br>16.9 ± 0.7                     | Basketball          | Semiprofessional (HPL)<br>Amateur (LPL)<br>Regional (HPL)                                           | Y-shape<br>Y-shape | Light<br>Light and human | 1<br>1    | ≈10 m<br>≈12 m | 45°<br>45° | ATL: HPL 5.7% faster than LPL (ES = 1.02)<br>ATR: HPL 6.2% faster than LPL (ES = 1.06)                                                                                                                                                                                                                                                                                |

**Table 2**

**Study characteristics regarding the validity of the agility test.\*** (Continued)

| Study<br>Author                | QA | Population |        |                            |                                |                                                                                        | Test    |                     |           |          |                       | Results<br>Validity                                                                                                                          |
|--------------------------------|----|------------|--------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------|-----------|----------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |    | n          | G      | Age                        | Sport                          | Level                                                                                  | Shape   | Stimuli             | No of CoD | d (m)    | Angle                 |                                                                                                                                              |
| Morland et al.<br>(2013) (44)  |    | 20         | F      | 17.0 ± 0.7                 | Hockey                         | School (LPL)                                                                           |         |                     |           |          |                       | HPL 2.4% faster than LPL (ES = 0.39) for<br>a light stimulus<br>HPL 3% faster than LPL (ES = 0.92) for<br>a specific stimulus                |
| Pojiskic et al.<br>(2018) (49) | 6† | 10         |        |                            |                                | U-19 top class (HPL)                                                                   | Y-shape | Light               | 20        | ≈40 m    | 45°, 90°,<br>and 180° | AT1: HPL 3.6% faster than LPL (ES = 0.96)<br>AT2: HPL 3% faster than LPL (ES = 0.66)<br>AT3: HPL 4.4% faster than LPL (ES = 1.1)             |
|                                |    | 10         | M      | 17 ± 0.9                   | Soccer                         | U-17 top class (LPL)                                                                   |         |                     |           |          |                       | TT: HPL 8.3% faster than LPL (ES = 1.65)<br>RT: HPL 27.9% faster than LPL (ES = 0.97)<br>DT: HPL 24.3% faster than LPL (ES = 1.14)           |
| Scanlan et al.<br>(2015) (58)  | 5† | 12         | M      | 25.9 ± 6.7                 | Basketball                     | State-level starters (HPL)<br>State-level nonstarters<br>(LPL)                         | Y-shape | Human               | 1         | ≈7 m     | ≈90°                  | M: HPL 5% faster than LPL (ES = 0.75)<br>F: HPL 2.9% faster than LPL (ES = 0.39)                                                             |
| Sekulic et al.<br>(2014) (60)  | 5† | 57         | F<br>M | 18–24                      | Team sports<br>Non-team sports | Agility-saturated sports<br>(HPL)<br>Non-agility-saturated<br>sports (LPL)             | Y-shape | Light               | 8 to 20   | ≈16–40 m | 45°, 90°,<br>and 180° |                                                                                                                                              |
| Sekulic et al.<br>(2017) (61)  | 5† | 58         |        |                            |                                | Professional (HPL)                                                                     | Y-shape | Light               | 3         | ≈8 m     | 45°                   | ATdom: HPL 4.9% faster than LPL (ES = 0.6)<br>ATnond: HPL 4.6% faster than LPL (ES = 0.64)                                                   |
| Serpell et al.<br>(2010) (62)  | 3† | 30         | M      | NR                         | Rugby                          | Semiprofessional (LPL)<br>National league (HPL)<br>National Youth<br>Competition (LPL) | Y-shape | Video               | 1         | ≈10 m    | 45°                   | TT: HPL 9.6% faster than LPL (ES = 0.56)<br>PRT: HPL 101% faster than LPL (ES = 0.68)                                                        |
| Sheppard et al.<br>(2006) (65) | 4† | 38         | M      | 21.8 ± 3.2                 | Australian football            | National league (HPL)<br>Reserve league (LPL)                                          | Y-shape | Human               | 1         | ≈8–9 m   | ≈90°                  | HPL 5.2% faster than LPL (ES = 1.13)                                                                                                         |
| Spasic et al.<br>(2015) (67)   | 4† | 23<br>26   | F<br>M | 25.14 ± 3.71<br>26.9 ± 4.2 | Handball                       | National league                                                                        | T-shape | Light               | 12        | ≈33 m    | 90°                   | M: Defensive player 1.8% faster than offensive<br>player (ES = 0.07)<br>F: Offensive player 4.3% faster than defensive<br>player (ES = 0.49) |
| Treroci et al.<br>(2018) (71)  | 5† | 20         |        | 15.36 ± 0.54               |                                | U-16 elite (HPL)                                                                       | Y-shape | Human               | 1         | ≈11 m    | 45°                   | HPL 3.5% faster than LPL<br>ES = 0.81                                                                                                        |
| Veale et al.<br>(2010) (73)    | 4† | 20         | M      | 16.6 ± 0.5                 | Soccer                         | U-16 subelite (LPL)<br>U-18 elite (HPL)                                                | Y-shape | Human               | 2         | ≈12 m    | 45°                   | HPL 4.3% faster than MPL (ES = 1.1)<br>HPL 18.2% faster than LPL (ES = 2.34)<br>MPL 14.5% faster than LPL (ES = 1.87)                        |
|                                |    | 20         |        |                            | Australian football            | U-18 subelite (MPL)<br>Control group (LPL)                                             |         |                     |           |          |                       |                                                                                                                                              |
| Young et al.<br>(2011) (75)    | 4† | 35<br>15   | M      | 15–17                      | Australian football            | Elite junior (HPL)<br>Secondary school team<br>(LPL)                                   | Y-shape | Video (arrow/human) | 1         | ≈8 m     | 45°                   | AT human: HPL 8.5% faster than LPL<br>(ES = 2.59)<br>AT arrows: 0% differences                                                               |

\*() = angle; AT = agility time; ATL = agility time left; ATR = agility time right; CoD = change of direction; d = distance (m); DA = decision accuracy; dom = dominant; DT = decision time; ES = effect size; F = female; G = gender; HPL = high performance level; LPL = low performance level; M = male; MPL = medium performance level; MT = movement time; nond = nondominant; NR = not reported; PRT = perception and response time; QA = quality assessment; RT = response time; TT = total time.  
†Quality assessment tool for observational cohort and cross-sectional studies proposed by the National Heart, Lung, and Blood Institute.

rapidly change direction to touch the plate that is lit. Subsequently, when a plate has been touched, another one lights up. Depending on the test, the athlete has to respond to a different number of stimuli that appear consecutively. In the study by Duking et al. (16), they assessed the reliability of 3 different tests in response to 8, 15, or 43 stimuli in team-sport athletes, using the SpeedCourt system (the mean duration of the test was 7–45 seconds). Results showed that all 3 tests were able to assess agility reliably ( $ICC > 0.79$ ; coefficient of variation [CV]  $< 5\%$ ).

Despite most studies using a Y-shaped test with angles of 45 (11,29,31,38,47,61) and 90° (or almost 90°) (57,67), other studies have used similar shapes combining both 45 and 90° cutting angles. This results in 4 possible outcomes: 2 to the right at 45 and 90°, and 2 to the left at 45 and 90° (49,54,60). Further to this, other authors such as Duking et al. (16) and Born et al. (6) have used the SpeedCourt with different cutting angles and distances. Duking et al. (16) used 3 tests including different distances and number of stimuli to react to, with a total length of 16.5, 33, and 159 m and with 7, 13, and 41 change-of-direction movements, respectively, and involving turns of 45–180°. Born et al. (6) used a test that incorporated 9 change-of-direction movements ranging from 10 to 180°. Benvenuti et al. (4) conducted an agility test in a square shape with the stimuli at the corners of the square ( $ICC = 0.80$ ); Bekris et al. (3) conducted an agility test while dribbling a ball in a cross shape ( $ICC = 0.90$ ); and Coh et al. (12) used 4 different shapes (frontal, universal, semicircular, and lateral) also reporting high reliability in all of them ( $ICC = 0.81$ – $0.85$ ).

Thus, all tests that used a light stimulus found acceptable reliability values ( $ICC > 0.70$ ) (70). However, the main disadvantage of this method is the nonspecificity of the stimulus and its performance in very confined surroundings with few possibilities of decision making (in most of them, movement to the left or the right).

Sixteen studies included in the current review assessed agility through the response to the movement from a researcher or another player as an elicited stimulus (10,14,24,25,27,28,33,41,56–59,65,71–73). The main advantage of using this type of agility test is its accessibility and the greater specificity that the stimulus represents. However, it must be acknowledged that this method likely presents a greater variability in the presentation time of the stimulus to the player depending on the human's movement. To test that hypothesis, Sheppard et al. (65) checked the interrater reliability of the RA test comparing the results achieved by the players on 2 different days, with 2 different testers. Results showed no significant differences between the 2 raters ( $r = 0.90$ ).

Most of the tests using these methods used a Y-shape with a change of direction at either 45 (41,71–73) or ~90° (10,24,25,27,28,56–59,65), with all of them showing a high ICC (range = 0.79–0.99). Despite the greater specificity of this stimulus, the movement and decision making in all these tests is relatively simple, with only 2 possibilities to change direction (i.e., to the left or right) in reaction to 4 possible scenarios displayed by the tester, 2 of them resulting in a change-of-direction movement to the right gate and the other 2 resulting in a change of direction to the left gate. The tester displayed 1 of 4 possible scenarios for the athlete to react to; however, the athletes did not explicitly know this. All possibilities involved steps of approximately 0.5 m and were presented in a random order that was different for each athlete: (a) step forward with the right foot and change direction to the left, (b) step forward with the left foot and change of direction to the right, (c) step forward with the right foot, then left, and change of direction to the right, and (d) step forward with the left foot, then right, and change of direction to the left (65). This

kind of test has been the most commonly used and has been shown to be reliable in a test-retest design ( $ICC = 0.79$ – $0.99$ ), between different testers ( $r = 0.90$ ), in decision accuracy ( $ICC = 0.93$ ), and in decision time ( $ICC = 0.95$ ). Furthermore, the assessment of the decision accuracy in the test is especially important to assess how many times players choose the correct option rather than guessing. The use of a specific stimulus like the movement of another human may provide athletes with vital kinematic information relating to posture, position, and movements of an opponent while they are still moving. In turn, this may assist in faster decision making and improve the subsequent motor response (59).

Drake et al. (14) and Holding et al. (33) used a more realistic 1 vs. 1 situation to evaluate agility in an open situation involving a real attacker and defender, with opposite goals. The attacker was instructed to cross a marked line without being touched by the defender, and the defender's role was to prevent the attacker from scoring. Holding et al. (32,33) used the total time spent for the defender and the attacker to cross the line, and only considered attempts valid when both players crossed the same exit gate, reporting moderate reliability in a test-retest design ( $ICC = 0.64$ ). By contrast, Drake et al. (14) gave a score to the attacker and the defender depending on the success rate of the action, finding a high interrater reliability ( $ICC = 0.82$ – $0.92$ ).

Those tests, which present human movements as a stimulus, show a more realistic and specific stimulus to the sporting context and also report high reliability. One of the potential reasons for this high reliability could be related to the simplicity of the test. It would be interesting to create more complex versions with a higher number of possible outcomes to get closer to the real context of competition and subsequently determine whether reliability remains acceptable. Also, to control the variability of test results, it is important to find a way to control the presentation time of the stimulus by controlling the decision time of the athlete, taking into account the difference between the first tester's movement to which the athlete has to react to, and the first movement in the same direction made by the athlete.

The studies that use a video stimulus are less frequent in this review (9,19,26,31,62,69,74). All tests included the use of video, conducting it by recording a certain number of actions of an athlete to which the player doing the test must respond, usually from a defensive perspective. Again, with Y-shaped tests commonly used, a test-retest reliability was high ( $ICC = 0.81$ – $0.83$ ). In the first study that used a response to a video stimulus (19) performed by rugby players, athletes had to respond from a defensive role to a pass made by an attacker to the left or right. Despite a high reliability reported for this test ( $ICC = 0.83$ ), the ability of challenging the perceptive ability of high-level players through the few scenarios presented with a possible response was considered questionable. To resolve this issue, Serpell et al. (62) and Henry et al. (30,31) introduced a greater variability of stimuli, including the possibility of feinting by the player on the video and a higher number of situations to which respond. The goal of the player doing the test was to cross the gate in a defensive reaction to the movement by the player on the video and showed a high test-retest reliability ( $ICC = 0.81$ – $0.82$ ). For its part, Young et al. (74) compared in a Y-shaped test, the reaction to a specific sporting stimulus (an attacker's movement) and the reaction to a nonspecific stimulus (an arrow) in elite and subelite Australian football players. In both tests, a very low test-retest reliability was reported, being lower in the agility test in response to an arrow ( $ICC = 0.10$ ) than in response to an opponent ( $ICC = 0.33$ ). Although speculative, this may be due to the necessity of

needing a greater familiarization time with the test by the players. Finally, Bullock et al. (9) created the reactive motor skill test for soccer players in which the speed, the passing ability, and the RA were evaluated as a whole. Reactive agility was the final part of the test, in which all players (after the passing ability component) had to react by taking on the role of a defender to the movement of a player dribbling the ball to the left or the right. When considered as a whole, test-retest reliability showed acceptable variability ( $CV = 2.4\%$ ), with a  $CV$  of  $2.3\%$  reported for the RA component, specifically.

When considering the available body of evidence, all RA tests reported a high test-retest reliability, so the use of a human stimulus may potentially be considered more advantageous than using a light stimulus, given the greater accessibility and ecological validity of using human subjects. However, future research should consider the creation of new test that includes more resulting scenarios, with higher complexity in the decision-making process for athletes, especially considering the importance of the cognitive component of agility performance.

In relation to the validity of the agility test, All studies included in this review, with the exception of one (23), show faster agility times for players of a higher performance level (mean =  $6.4\%$  faster, range =  $2.1\text{--}18.2\%$ ) (19,22,29,30,38,44,58,61,65,71,73,74) compared with players of a lower performance level. We found the exception to be a study by Gabbett et al. (23), who showed no significant differences were found between starter players and nonstarter players, which may potentially be explained by the high level of all players in the sample. Notwithstanding, only better results were found on the response accuracy of the agility test with a better performance of the starter players ( $2.5\%$  better,  $ES = 0.29$ ); however, no significant differences between groups was evident.

When assessing agility, the evaluation of total time, decision time, the accuracy of the decision, and the movement time is important for practitioners, because of obviating them could lead to the misinterpretation of key aspects in the results (22), for example, the noninclusion of the assessment of decision accuracy could promote athletes guess one option rather than choosing the correct one. In addition, it can give us clues about the reason why there is a faster or slower test performance and about a player's weaknesses in terms of movement speed or decision times (25). Gabbett et al. (25) used this information to differentiate players in 4 groups according to the results of movement time and decision time. Consequently, results created a combination of categories of "fast and slow" thinkers and "fast and slow" movers, which provided useful information to coaches in relation to the specific weaknesses of each player. Collectively, all studies included found a faster decision time (mean =  $23.2\%$ , range =  $10.2\text{--}48.0\%$ ) and better decision accuracy (mean =  $9.3\%$ , range =  $2.5\text{--}21.0\%$ ) in those groups of a higher performance level (22,25,26,58). This may be because players of a higher performing level are able to take out relevant information and postural cues to give a faster response to any kind of stimulus that may warrant a specific decision (e.g., human or light stimulus).

Seven studies used planned and nonplanned agility tests to evaluate the discriminatory validity of the test between different performance levels. These studies found no significant differences in planned agility tests between levels, but a higher performance in nonplanned agility tests in the players competing at a higher level (19,25,38,58,61,62,65). This may be due to the team-sports player's need to constantly adjust their movements to situations that arise during matches, such as the movement of an opponent, the ball, or their teammates, highlighting the importance of the

cognitive processes during such actions. Scanlan et al. (58) suggest that anticipation, visual scanning, pattern recognition, and situational knowledge should be central factors to distinguish between different performance levels of players and a key consideration for team selection in team-sport athletes. The only study that found significant differences between different group levels in planned agility tests was the one by Green et al. (29), finding that club level rugby players were faster in change-of-direction speed ( $ES = 2.23$ ) and in the RA test ( $ES = 1.14$ ) than academy players.

Other studies have evaluated the difference between 2 groups of different performance levels in an agility test in response to a specific (human) or nonspecific (light) stimulus (44,74). Results concluded that the nonspecific stimulus was unable to find significant differences between groups; however, significant differences were found between groups in the use of a human stimulus, with the higher-level group obtaining better results. Young et al. (74) used a video stimulus to differentiate the performance between reacting to an arrow that pointed in a given direction or to an attacking player, using Australian football players. For the arrow condition, no differences were evident between groups, but in the agility test in reaction to an opposition athlete, elite players performed better than secondary school players (74). Similarly, Morland et al. (44) used 2 different tests; one in reaction to a light stimulus and another one in reaction to a human stimulus, representing an opponent. Better performance was seen from the higher-level players in the test involving a human stimulus; however, no significant differences were seen between groups during the light stimulus test.

These results bring out a greater ability to anticipate an opponent's action through the observation of postural cues of higher-level players (58,73), which probably cannot be obtained through the use of general or nonspecific stimulus such as lights or arrows. Even so, other studies that use a general stimulus (light) also reported improved test scores in players of a higher competitive level (29,38,61,62). It is worth noting, however, that none of these studies reported metrics such as decision time, decision accuracy, or movement time, which likely ignores some of the reasoning for faster agility times.

Most of the tests used to evaluate agility use fairly stable surroundings, where there is small variety of stimuli to respond to and only a few chances of response. Henry et al. (30) wanted to introduce the evaluation of more complex surroundings and a greater variability of stimuli by including a response to a video of an opponent feinting (or not). They found a very large difference between feint and nonfeint agility test performance ( $ES = 3.06$ ), finding worse results in the feint agility test performance in comparison with the nonfeint agility test. It was suggested that this could be due to a greater cognitive complexity in the test. That said, in both tests, enhanced performance was found in the higher performance group who were  $5.5\%$  faster in feint trials ( $ES = 0.52$ ) and  $2.1\%$  faster in nonfeint trials ( $ES = 0.47$ ). In addition, the same group also showed faster decision times, being  $10.2\%$  faster in feint trials ( $ES = 0.59$ ) and  $12.0\%$  faster in nonfeint trials ( $ES = 0.73$ ), showing less loss of performance in the feint agility test than lower-skilled players. Nevertheless, lower performance level players were slightly faster in the interresponse interval between the first and the second decisions in reaction to the feint movement, probably as a result of a faster first decision and in consequence of a greater time running in an incorrect direction. As a result, the authors concluded that the result of a better performance in the nonfeint agility test was due to shorter decision times of the higher skill level group, and in the feint agility test, shorter movement time accounts for most of this (30).

It is generally accepted that an agility test can distinguish between performance levels in all team sports. The majority of these studies used rugby players, finding a better result in the agility test by the higher performing group (22,23,25,29,62), but the same results were found in studies conducted on Australian football (30,65,73,74), soccer (3,21,49,71), basketball (38,58,61), hockey (44), netball (19), softball (26), and handball (67) players. It seems to make sense because of the intermittent nature of these sports, in which players are constantly involved in high-intensity game actions where they must respond to very complex game situations depending on the position of teammates, adversaries, and ball.

Some studies have assessed the discriminatory validity of agility tests by distinguishing between different age groups (3,21,49,62), and all of these studies found that older and more experienced athletes were faster than their younger counterparts. Serpell et al. (62) compared a Y-shaped video RA test between a first-grade Australian National Rugby League group and an under-20 Australian National Youth Competition group. The senior group achieved faster perception and response times, with a mean negative value showing a higher anticipatory capacity, and a faster total time in the agility test than the junior group. Also, this study assessed a planned agility test, but no significant differences were evident between groups. When considering these data, it has been proposed that differences in agility performance between older and younger athletes can be attributed to perception and response time. Furthermore, it is suggested that players who perform at a higher level are able to identify key kinematic cues earlier, thus having a quicker reaction (19,25,26,30,38,44,58,62,71,73,74).

Fiorilli et al. (21) also used a Y-shaped agility test but in response to a light stimulus and compared the test performance between 4 different age groups (under-12, under-14, under-16, and under-18) finding improved test performance in older age groups, being the under-18 group faster in all agility test than the other age categories. They also included the measure of the REAC-INDEX, understood as the difference between the results of a Y-shaped RA test minus the planned Y-shaped test, which showed that the under-18 group had a better index than younger groups. The under-12 group was slower in both tests and had a significantly higher value than the other age groups for the REAC-INDEX. Unsurprisingly, this is likely due to the lower physical development and sport-specific experience of the younger groups: an inexperienced technique and lack of movement strategies (21). Furthermore, the under-18 group was able to distinguish and respond better to unpredictable game situations with a faster perception and decision time and a better and more stable technique to changes of direction, thus obtaining better results (21,71). Moreover, it was shown that correlations between COD and agility were larger in younger athletes ( $r = 0.61$ ,  $p < 0.01$  in the under-14 group) but may progressively decrease with age ( $r = 0.31$  in the under-18 group) (21). It shows a low and nonsignificant correlation in the under-18 group, which suggests that when athletes reach physical maturation and proficient soccer experience, change-of-direction speed and RA represent independent skills, highlighting the importance of cognitive factors (21).

Pojiskic et al. (49) compared a “Stop’n’Go” agility test between under-17 and under-19 groups and also found the older group was faster in the agility test. These differences were not found in jumping, sprinting, or reactive strength tests. Consequently, these results may suggest that differences can be due to the higher expertise and a longer involvement in structured soccer training

from the under-19 group (9.3 vs. 11.9 years of training). Finally, only one of the studies included dribbling a ball during the agility test (3) comparing between 4 age groups (under-10, under-12, under-14, and under-16) and measured the total time to completion between groups. Results showed progressively faster times in older groups supported by the greater visual tracking capability of the more experienced group and the greater dependency on visual feedback at increased speeds during dribbling (3).

As seen in this review, agility tests are also able to distinguish between different age groups; older and experienced players are typically able to achieve superior results in agility tests than their younger and less experienced counterparts. However, one limitation of many studies is the use of a light as the response stimulus. This aspect can reduce the advantage of the more experienced athletes because it does not let them use specific cues associated with the sport to anticipate and react faster (7,38). Furthermore, the lack of information about the decision time, movement time, and decision accuracy of agility tests makes it difficult to determine whether better test performance is because of better perception and response capacity or because of a higher performance in the motor task itself. Future research should include specific stimuli and more information about the decision time, movement time, and decision accuracy to extract as much information during the testing and training process as possible.

Sekulic et al. (60) compared male and female athletes divided into 2 different groups: one formed by athletes involved in agility-saturated sports (such as team, combat, and racket sports) and another one formed by athletes involved in non-agility-saturated sports (such as track sports, swimming, and gymnastics). The agility test used was a “Stop’n’Go” agility test in which athletes had to respond to 5 light stimuli with 5 different changes of direction. The results for male athletes were somewhat expected; those involved in team sports achieved a better performance than those who were not. The reason for such differences could be the constant involvement in perception and reactive actions in team sports. Nevertheless, there were no significant differences between those women involved in agility-saturated sports and non-agility-saturated sports. But, when analyzing the results of the test, they found that if they shortened the duration of the agility test results to the first 3 courses instead of the 5 courses that compose the initial test, they were then able to find a significant difference between both groups, with a mean of 6.71 seconds for team-sport athletes vs. a mean of 7.55 achieved by non-team-sports athletes ( $ES = -0.88$ ,  $p = 0.03$ ). They suggest that the higher influence of other physical factors (e.g., anaerobic lactate capacity) may have confounded the results and potentially had a greater influence than the decision-making capacities. Following that suggestion, they propose to reduce the duration of the test to a better assessment of agility in female athletes; thus, reducing the influence of this, other physical factors in the results achieved in the test.

Therefore, it seems that agility might differentiate between team-sports players and individual sports players due to reasons such as a constant interaction with the environment, and different game situations and a necessary readjustment of the movement depending on the game stimuli to which they must respond, such as the position of teammates, opponents, or ball. However, until now, we have found only one study assessing this difference; thus, further research in this regard is suggested.

In conclusion, agility tests have shown a good reliability, irrespective of the type of stimulus used. The advantage of using lights is the increase of the reliability due to the control of the moment when the stimulus appears; however, it is presented as

a nonspecific stimulus, which seems better either to use a video representing an opposing player's action or to use a researcher or player simulating an opponent. In this case, the main disadvantage of the video stimulus is that it is shown in 2D, which causes a loss of movement information and postural hints that we do obtain using a real opponent. So, the use of a human stimulus seems to be the more valid ecological stimulus for the evaluation of the agility test.

Many studies have shown the performance difference between a preplanned agility test and a nonplanned agility test, showing them to be different abilities. However, most agility tests occur in fairly simple contexts, in which there is only one stimulus and there are only 2 possible responses (left or right), such as the extended Y-shaped agility test. In recent years, tests have been evolving and "Stop'n'Go" agility tests have been created, being tests where there are back-and-forth races needing the response to more than one stimulus, and more complex surroundings have been created, such as the use of feints during the opponent's action to which respond. Nevertheless, it is still necessary to create new tests, with a greater number of possible responses, and through using specific stimuli.

Assessing agility is also important to consider the decision time, movement time, and decision accuracy to have more data to give us clues to know why there is a higher or lower performance in the test, differentiating between a possible cognitive response, motor response, or both. More research is necessary to find new reliable methods to determine and evaluate the perception and response time because some methods are presented as subjective or not duplicable. In addition, an appropriate time of familiarization with the test might be needed to avoid a misinterpretation of the results.

Agility tests have also shown a great discriminatory ability between performance levels and age groups: the higher the performance level and sports experience, the better the test results obtained. Those differences tend to be clearer when the stimulus to which athletes respond to is more specific, so that players with greater experience or higher level are able to perceive postural clues and anticipate movement, giving much faster decision times.

### Practical Applications

Strength and conditioning coaches have to consider the inclusion of the evaluation of RA because it is a determinant capacity in team-sports performance, taking into account not only the movement time but also the decision time and decision accuracy to know the influence of the cognitive factors in the results of the test. Moreover, the inclusion of specific training of agility in reaction to a specific stimulus additionally to change-of-direction speed training seems crucial to improve team-sports performance because it has been proved to be different abilities. Finally, the difficulty of the cognitive task has to be adapted to the level of performance and the experience of players, trying to develop more complex and specific surroundings in higher-level athletes to really challenge their perception and decision-making abilities.

### Acknowledgments

No sources of funding were used to assist in the preparation of this article. The authors declare that they have no conflict of interest relevant to the content of this review.

### References

1. Abernethy B, Thomas KT, Thomas JT. Strategies for improving understanding of motor expertise [or mistakes we have made and things we have learned!]. *Cogn Issues Motor Expertise* 102: 317–356, 1993.
2. Barrow HM, McGee R, Tristschler K. *Practical Measurement in Physical Education and Sport*. Philadelphia, PA: Lea & Febiger, 1989.
3. Bekris E, Gissis I, Kounalakis S. The dribbling agility test as a potential tool for evaluating the dribbling skill in young soccer players. *Res Sport Med* 26: 425–435, 2018.
4. Benvenuti C, Minganti C, Condello G, Capranica L, Tessitore A. Agility assessment in female futsal and soccer players. *Medicina (Kaunas)* 46: 415–420, 2010.
5. Bloomfield J, Polman R, O'Donogue P, McNaughton L. Effective speed and agility conditioning methodology for random intermittent dynamic type sports. *J Strength Cond Res* 21: 1093–1100, 2007.
6. Born DP, Zinner C, Düking P, Sperlich B. Multi-directional sprint training improves change-of-direction speed and reactive agility in young highly trained soccer players. *J Sport Sci Med* 15: 314–319, 2016.
7. Bruce L, Farrow D, Raynor A, Mann D. But I can't pass that far! the influence of motor skill on decision making. *Psychol Sport Exerc* 13: 152–161, 2012.
8. Brughelli M, Cronin J, Levin G, Chaouachi A. Understanding change of direction ability in sport: A review of resistance training studies. *Sport Med* 38: 1045–1063, 2008.
9. Bullock W, Panchuk D, Broatch J, Christian R, Stepto NK. An integrative test of agility, speed and skill in soccer: Effects of exercise. *J Sci Med Sport* 15: 431–436, 2012.
10. Chaalali A, Rouissi M, Chtara M, et al. Agility training in young elite soccer players: Promising results compared to change of direction drills. *Biol Sport* 33: 345–351, 2016.
11. Cochrane DJ. The effect of acute vibration exercise on short-distance sprinting and reactive agility. *J Sport Sci Med* 12: 497–501, 2013.
12. Coh M, Vodičar J, Žvan M, et al. Are change-of-direction speed and reactive agility independent skills even when using the same movement pattern? *J Strength Cond Res* 32: 1929–1936, 2018.
13. Docherty D, Wenger HA, Neary P. Time-motion analysis related to the physiological demands of rugby. *J Hum Mov Stud* 14: 269–277, 1988.
14. Drake D, Kennedy R, Davis J, et al. A step towards a field based agility test in team sports. *Int J Sport Exerc Med* 3: 1–7, 2017.
15. Draper JA, Lancaster MG. The 505 test: A test for agility in the horizontal plane. *Aust J Sci Med Sport* 17: 15–18, 1985.
16. Düking P, Born DP, Sperlich B. The speedcourt: Reliability, usefulness, and validity of a new method to determine change-of-direction speed. *Int J Sports Physiol Perform* 11: 130–134, 2016.
17. Edwards S, Austin AP, Bird SP. The role of the trunk control in athletic performance of a reactive change-of-direction task. *J Strength Cond Res* 31: 126–139, 2017.
18. Engelbrecht L, Terblanche E, Welman KE. Video-based perceptual training as a method to improve reactive agility performance in rugby union players. *Int J Sport Sci Coach* 11: 799–809, 2016.
19. Farrow D, Young WB, Bruce L. The development of a test of reactive agility for netball: A new methodology. *J Sci Med Sport* 8: 52–60, 2005.
20. Fiorilli G, Iuliano E, Mitrotasios M, et al. Are change of direction speed and reactive agility useful for determining the optimal field position for young soccer players? *J Sport Sci Med* 16: 247–253, 2017.
21. Fiorilli G, Mitrotasios M, Iuliano E, et al. Agility and change of direction in soccer: Differences according to the player ages. *J Sport Med Phys Fit* 57: 1597–1604, 2017.
22. Gabbett T, Benton D. Reactive agility of rugby league players. *J Sci Med Sport* 12: 212–214, 2009.
23. Gabbett TJ, Jenkins DG, Abernethy B. Relative importance of physiological, anthropometric, and skill qualities to team selection in professional rugby league. *J Sports Sci* 29: 1453–1461, 2011.
24. Gabbett TJ, Jenkins DG, Abernethy B. Relationships between physiological, anthropometric, and skill qualities and playing performance in professional rugby league players. *J Sports Sci* 29: 1655–1664, 2011.
25. Gabbett TJ, Kelly JN, Sheppard JM. Speed, change of direction speed, and reactive agility of rugby league players. *J Strength Cond Res* 22: 174–181, 2008.
26. Gabbett T, Rubinoff M, Thorburn L, Farrow D. Testing and training anticipation skills in softball fielders. *Int J Sports Sci Coach* 2: 15–24, 2007.
27. Gabbett TJ, Sheppard JM, Pritchard-Peschek KR, Leveritt MD, Aldred MJ. Influence of closed skill and open skill warm-ups on the performance of speed, change of direction speed, vertical jump, and reactive agility in team sport athletes. *J Strength Cond Res* 22: 1413–1415, 2008.

28. Gabbett TJ, Ullah S, Jenkins D, Abernethy B. Skill qualities as risk factors for contact injury in professional rugby league players. *J Sports Sci* 30: 1421–1427, 2012.
29. Green BS, Blake C, Caulfield BM. A valid field test protocol of linear speed and agility in rugby union. *J Strength Cond Res* 25: 1256–1262, 2011.
30. Henry G, Dawson B, Lay B, Young W. Effects of a feint on reactive agility performance. *J Sports Sci* 30: 787–795, 2012.
31. Henry G, Lay B, Young WB. Validity of a reactive agility test for Australian football. *Int J Sports Physiol Perform* 6: 534–545, 2011.
32. Holding R, Meir RA, Zhou S. Assessing response time reliability in a simple 1-v-1 defensive scenario relevant to rugby football. *J Aust Strength Cond* 22: 111–115, 2014.
33. Holding R, Meir R, Zhou S. Can previewing sport-specific video influence reactive-agility response time? *Int J Sports Physiol Perform* 12: 224–229, 2017.
34. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham A, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 41: 3–13, 2009.
35. Johnson BL, Nelson JK. *Practical Measurements for Evaluation in Physical Education*. Minneapolis, MA: Burgess, 1969.
36. Keogh JW, Weber CL, Dalton CT. Evaluation of anthropometry, physiological, and skill-related tests for talent identification in female field hockey. *Can J Appl Physiol* 28: 397–409, 2003.
37. Little T, Williams AG. Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *J Strength Cond Res* 19: 76–78, 2005.
38. Lockie RG, Jeffriess MD, McGann TS, Callaghan SJ, Schultz AB. Planned and reactive agility performance in semiprofessional and amateur basketball players. *Int J Sports Physiol Perform* 9: 766–771, 2014.
39. Mathews DK. *Measurement in Physical Education* (5th ed.). Philadelphia, PA: W.B. Saunders, 1978.
40. Matlák J, Tihanyi J, Rácz L. Relationship between reactive agility and change of direction speed in amateur soccer players. *J Strength Cond Res* 30: 1547–1552, 2016.
41. Meir R, Holding R, Hetherington J. Impact of the two-handed rugby ball carry on change of direction speed and reactive agility: Implications for sport specific testing. *Int J Sports Sci Coach* 9: 1181–1190, 2014.
42. Meir R, Newton R, Curtis E, Fardell M, Butler B. Physical fitness qualities of professional rugby league football players: Determination of positional differences. *J Strength Cond Res* 15: 450–458, 2001.
43. Moher D. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *Ann Intern Med* 151: 264, 2013.
44. Morland B, Bottoms L, Sinclair J, Bourne N. Can change of direction speed and reactive agility differentiate female hockey players? *Int J Perform Anal Sport* 13: 510–521, 2013.
45. Mujika I, Santisteban J, Impellizzeri FM, Castagna C. Fitness determinants of success in men's and women's football. *J Sports Sci* 27: 107–114, 2009.
46. Nimmerichter A, Weber N, Wirth K, Haller A. Effects of video-based visual training on decision-making and reactive agility in adolescent football players. *Sports* 4: 1, 2016.
47. Oliver JL, Meyers RW. Reliability and generality of measures of acceleration, planned agility, and reactive agility. *Int J Sports Physiol Perform* 4: 345–354, 2009.
48. Paul DJ, Gabbett TJ, Nassis GP. Agility in team sports: Testing, training and factors affecting performance. *Sport Med* 46: 421–442, 2015.
49. Pojskic H, Åslin E, Krolo A, et al. Importance of reactive agility and change of direction speed in differentiating performance levels in junior soccer players: Reliability and validity of newly developed soccer-specific tests. *Front Physiol* 9: 1–11, 2018.
50. Portney L, Walkins M. *Foundations of Clinical Research: Application to Practice* (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.
51. Rauter S, Simenko J, Zvan M, et al. Analysis of reactive agility and change-of-direction speed between soccer players and physical education students. *Hum Mov* 2018: 68–74, 2018.
52. Reilly T, Williams AM, Nevill A, Franks A. A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *J Sports Sci* 18: 695–702, 2000.
53. Salaj S, Markovic G. Specificity of jumping, sprinting, and quick change-of-direction motor abilities. *J Strength Cond Res* 25: 1249–1255, 2001.
54. Sattler T, Šajber D. Change of direction speed and reactive agility performance—the reliability of a newly constructed measuring protocols: A brief report. *Kinesiol Slov* 21: 31–38, 2015.
55. Sattler T, Sekulić D, Spasić M, et al. Analysis of the association between motor and anthropometric variables with change of direction speed and reactive agility performance. *J Hum Kinet* 47: 137–145, 2015.
56. Scanlan A, Humphries B, Tucker PS, Dalbo V. The influence of physical and cognitive factors on reactive agility performance in men basketball players. *J Sports Sci* 32: 367–374, 2013.
57. Scanlan AT, Tucker PS, Dalbo VJ. A comparison of linear speed, closed-skill agility, and open-skill agility qualities between backcourt and frontcourt adult semiprofessional male basketball players. *J Strength Cond Res* 28: 1319–1327, 2014.
58. Scanlan AT, Tucker PS, Dalbo VJ. The importance of open- and closed-skill agility for team selection of adult male basketball players. *J Sport Med Phys Fit* 55: 390–396, 2015.
59. Scanlan AT, Wen N, Kidcaff AP, et al. Generic and sport-specific reactive agility tests assess different qualities in court-based team sport athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 56: 206–213, 2014.
60. Sekulic D, Krolo A, Spasic M, Uljevic O, Peric M. The development of a new Stop'n'go reactive-agility test. *J Strength Cond Res* 28: 3306–3312, 2014.
61. Sekulic D, Pehar M, Krolo A, et al. Evaluation of basketball-specific agility: Applicability of preplanned and nonplanned agility performances for differentiating playing positions and playing levels. *J Strength Cond Res* 31: 2278–2288, 2017.
62. Serpell BG, Ford M, Young WB. The development of a new test of agility for rugby league. *J Strength Cond Res* 27: 3270–3277, 2010.
63. Services UD of H and H. *Quality Assessment Tool for Observational Cohort and Cross-Sectional Studies*. Bethesda, MD: Natl Institutes Health Dep Heal Hum Serv, 2014. Available at: <https://www.nhlbi.nih.gov/health-topics/study-quality-assessment-tools>.
64. Sheppard J, Young W. Agility literature review: Classifications, training and testing. *J Sports Sci* 24: 15–28, 1985.
65. Sheppard JM, Young WB, Doyle TLA, Sheppard TA, Newton RU. An evaluation of a new test of reactive agility and its relationship to sprint speed and change of direction speed. *J Sci Med Sport* 9: 342–349, 2006.
66. Simonek J, Horicka P, Hianik J. Differences in pre-planned agility and reactive agility performance in sport games. *Acta Gymnica* 46: 68–73, 2016.
67. Spasic M, Krolo A, Zenic N, Delextrat A, Sekulic D. Reactive agility performance in handball; development and evaluation of a sport-specific measurement protocol. *J Sport Sci Med* 14: 501–506, 2015.
68. Spiteri T, Newton RU, Nimphius S. Neuromuscular strategies contributing to faster multidirectional agility performance. *J Electromyogr Kinesiol* 25: 629–636, 2015.
69. Spiteri T, Nimphius S, Hart NH, et al. Contribution of Strength characteristics to change of direction and agility performance in female basketball athletes. *J Strength Cond Res* 28: 2415–2423, 2014.
70. Thomas JT, Nelson JK, Silverman SJ. *Research Methods in Physical Activity* (7th ed.). Champaign, IL: Kinetics H, 2015.
71. Trecroci A, Longo S, Perri E, Iaia FM, Alberti G. Field-based physical performance of elite and sub-elite middle-adolescent soccer players. *Res Sport Med* 27: 60–71, 2018.
72. Trecroci A, Milanović Z, Rossi A, et al. Agility profile in sub-elite under-11 soccer players: Is SAQ training adequate to improve sprint, change of direction speed and reactive agility performance? *Res Sport Med* 24: 331–340, 2016.
73. Veale JP, Pearce AJ, Carlson JS. Reliability and validity of a reactive agility test for Australian football. *Int J Sports Physiol Perform* 5: 239–248, 2010.
74. Young WB, Farrow D, Pyne D, McGregor W, Handke T. Validity and reliability of agility tests in junior Australian football players. *J Strength Cond Res* 25: 3399–3403, 2011.
75. Young WB, James R, Montgomery I. Is muscle power related to running speed with change of direction? *J Sports Med Phys Fitness* 42: 282–288, 2002.



## **4.2. Ensayo previo estudios 2 y 3**

### ***Diseño de un test de agilidad reactiva en fútbol para la valoración de la variabilidad de movimiento mediante la entropía***

Este ensayo precede a los estudios 2 y 3 de la tesis «*Assessment of movement variability and time in a football reactive agility task depending on constraints*» y «*Are change of direction speed and reactive agility different abilities from time and coordinative perspectives?*». En él se analizan diferentes pruebas para definir el test de agilidad y la metodología y análisis de datos utilizados finalmente en el estudio, además de extraerse unos primeros resultados en los diferentes testeos.



### **Justificación del ensayo previo**

Mediante la revisión realizada en el primer artículo que compone esta tesis se analizaron los test utilizados hasta el momento para valorar la AR. En esta revisión se encontró que en la mayoría de los casos se utilizaba el test en Y en respuesta a diferentes tipos de estímulos como la reacción a una luz, a una situación de juego reflejada en una pantalla, o al movimiento de una persona (colaborador/a o jugador/a) (Morrall et al., 2020). De esta forma, la mayoría de los test utilizados para medir la AR se habían basado en escenarios simples, donde solo existía una posibilidad de respuesta entre dos opciones (a izquierda o derecha) y donde la complejidad de la toma de decisión era limitada debido a que el jugador debía reaccionar a un único estímulo, suponiendo un nivel muy bajo de complejidad como para poder desafiar las habilidades cognitivas de los jugadores de alto nivel.

Uno de los desafíos de esta tesis en cuanto a la creación del test de agilidad utilizado en los siguientes estudios era proponer entornos más complejos, con mayor especificidad y similitud con los estímulos propios de la competición y un mayor número de posibilidades de respuesta.

Otro de los desafíos era la propuesta de valoración de la agilidad, no solo desde la perspectiva clásica de la valoración del resultado de la acción a través de la medición del tiempo total, sino también incluyendo la valoración mediante técnicas de medición no lineales como la entropía, que pueden informar de la estructura de la señal aportando datos valiosos sobre el proceso de la acción e indicando una mayor o menor desestructuración de la señal, información a partir

de la cual se podría inferir una mayor o menor variabilidad de movimiento en la acción.

### **Contextualización**

Para crear el test de agilidad utilizado en los estudios 2 y 3 que componen esta tesis se hizo una revisión por dos vías, una primera orientada a analizar los test utilizados y validados hasta el momento para la valoración de la AR; y otra cuyo objetivo era conocer las demandas de un partido de fútbol femenino para ayudar a determinar distancias de aceleraciones, acciones de alta intensidad y ángulos de cambios de dirección específicos.

En cuanto a la revisión de las distintas pruebas utilizadas para valorar la AR, el objetivo fue conocer qué test eran los más utilizados, qué niveles de fiabilidad tenían, qué tipo de estímulo incluían, qué distancias y ángulos de giro en el cambio de dirección se determinaban, qué variables se medían para su valoración y qué limitaciones se podían encontrar en ellos. Tras la revisión realizada se encontró que el test en Y era el más utilizado y que en la mayoría de los estudios tenía niveles de fiabilidad altos y muy altos ( $ICC = 0,79-0,99$ ). El tipo de estímulo utilizado variaba entre estudios (luz, pantalla o humano), aunque se asume en general que el estímulo humano es el más específico al deporte. La distancia total del test en la mayoría de los estudios oscilaba entre 7 y 12 m con ángulos de giro habitualmente de  $\sim 45^\circ$ , con algún estudio utilizando ángulos de  $90^\circ$  (Morral et al., 2020; Paul et al., 2015; J. Sheppard & Young, 2006). Todas las valoraciones realizadas en los test analizados se basaban en registros de tiempo, pudiendo desglosarse en algún caso en tiempo

total del test y tiempo de decisión. Algunos estudios también incluían el análisis de la precisión de la decisión en base a las respuestas dadas por los participantes del estudio (Morral et al., 2020). La principal limitación encontrada en la mayoría de test fue la inclusión de 2 únicas opciones de respuesta en reacción a 1 único estímulo, lo cual representa una complejidad muy baja como para desafiar las habilidades cognitivas de los jugadores.

Por otro lado, se analizaron las demandas de un partido de fútbol, centrándose en las demandas en fútbol femenino, para tratar de hacer el test lo más específico posible al deporte. El objetivo era analizar principalmente cuáles eran los ángulos de cambio de dirección más habituales y qué distancias se recorrían en aceleraciones y velocidades máximas, así como analizar los estímulos desencadenantes de la respuesta (jugadoras que se movían para tapar líneas de pase/trayectorias de forma coordinada). En este sentido, se encontró que la mayoría de cambios de dirección en partidos de fútbol se daban en ángulos de giro de entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  ( $\approx 83,7\%$ ) (Bloomfield et al., 2007), siendo  $\sim 45^\circ$  el ángulo de cambio de dirección más habitual (Taylor et al., 2017). En cuanto a la distancia, se encontró que 10 m era la distancia más habitual de los sprints y las acciones a alta intensidad en partidos de fútbol femenino (Mara et al., 2017). Por último, se determinó la necesidad de aumentar la complejidad de los test de agilidad habituales introduciendo estímulos más complejos y que se correspondan con situaciones de juego específicas de un partido, como puede ser la actuación defensiva de varias jugadoras que se movían de forma coordinada

tapando ciertos espacios y dejando libres otros por los que la atacante debía actuar.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, se pasó por el proceso de probar y desarrollar diferentes test de agilidad hasta conseguir una forma de valoración que supusiera un estímulo suficientemente complejo como para suponer un desafío en cuanto a la toma de decisión de las jugadoras y suficientemente simple como para que la escasez de recursos humanos o materiales no lo convirtieran en una tarea demasiado compleja de llevar a cabo.

## **Material y métodos**

### ***Participantes***

En las pruebas realizadas para probar las diferentes opciones de tareas de agilidad desarrolladas participó una parte de la muestra total utilizada para el desarrollo del estudio. En el conjunto de las pruebas previas y sus diferentes fases participaron 8 jugadoras de fútbol semiprofesionales del RCD Espanyol de Barcelona. La edad promedio de las mismas fue de  $21,24 \pm 3,28$  años, con un peso promedio de  $60,36 \pm 6,80$  kg y una altura promedio de  $1,65 \pm 0,07$  m.

### ***Material***

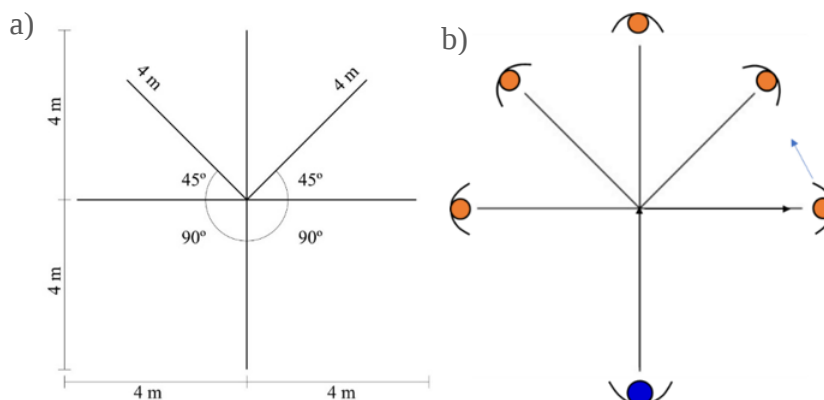
El material utilizado para las pruebas fue diferente en función de la fase y el test desarrollado. En algunas pruebas únicamente se quiso comprobar el funcionamiento y la logística del test y solo se

utilizaron conos para delimitar el espacio. En general, el material específico utilizado en las fases donde se realizó toma de datos fueron 4 pares de fotocélulas de haz simple de tipo reflector (Witty System, Microgate, Italia), 1 cámara portátil de alta velocidad (Casio Exilim EX-ZR100) para grabación a 240 fps, 2 dispositivos WIMU (Realtrack Systems, Almería, España) con un acelerómetro triaxial de 100G, con capacidad de registro a una frecuencia de 1000 Hz, y un magnetómetro 3D con capacidad de registro a 100 Hz. Por último, en las últimas pruebas también se utilizaron 8 barras magnéticas de 33 mm de diámetro y 267 mm de altura (D33 mm × 267 mm, ND35, A. C. Magnets 98, Barcelona, España).

### ***Procedimiento***

En un primer momento se propuso un test de agilidad de una distancia total de 8 m, compuesta por 4 m iniciales durante los cuales, a los 3 m de la salida, aparecía el estímulo al que responder; y 4 m finales donde se ejecuta la respuesta a la aparición del estímulo. Debido al amplio espectro de ángulos de giro y opciones de respuesta que se dan en un partido, se optó por incluir un número amplio de opciones de respuesta y de ángulos de giro tratando de abarcar la gran mayoría de acciones de cambio de dirección que se pueden dar en la competición. Esto dio lugar a un test compuesto por 6 opciones de salida, dos hacia la derecha a 45° y 90°, dos hacia la izquierda a 45° y 90°, una en línea recta y otra de vuelta a la puerta de salida con giro de 180° (figura 12).

Figura 12. Representación gráfica del test de AR propuesto



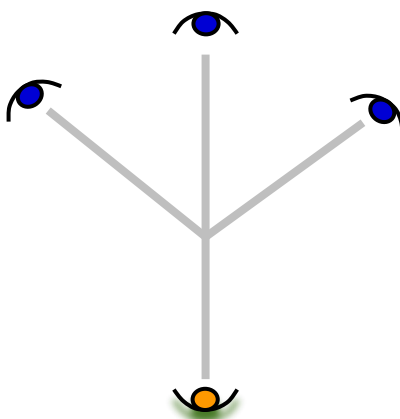
NOTA. a) medidas y ángulos del test; b) organización estructural del test. FUENTE. Elaboración propia.

Dentro de esta opción se determinó que el cambio de dirección se realizaría en respuesta al movimiento de otra jugadora desde una perspectiva ofensiva, de forma que cuando la jugadora testada pasara por los 3 m iniciales, una de las jugadoras situadas en las puertas de salida se movería dejándola libre, de forma que la jugadora testada debía desplazarse hacia ese espacio libre. Si ninguna de las jugadoras abandonaba su puerta, la jugadora testada debía volver lo más rápido posible a su puerta de salida. Este ejercicio se realizaría con y sin balón. Tras realizar varias pruebas, se decidió simplificar el test para hacerlo más asequible a nivel logístico y más reproducible en cuanto a la fiabilidad del momento de aparición del estímulo.

La siguiente opción que se propuso era algo más simple, reduciendo el número de opciones de respuesta a 4 (por la derecha o por la izquierda a 30°, recto por el centro o en cambio de dirección a 180°) y en respuesta a 3 jugadoras que se ubicaban igualmente tapando puertas. Igual que en la opción anterior, en el momento de pasar por

los primeros 3 m, una de las jugadoras debía moverse dejando una puerta libre, por donde debía salir la jugadora testada. Si no se movía ninguna jugadora, la jugadora testada tenía que hacer un cambio de dirección de  $180^\circ$  para salir por la puerta de inicio (figura 13).

Figura 13. Segunda variante testada para la elección del test de agilidad reactiva



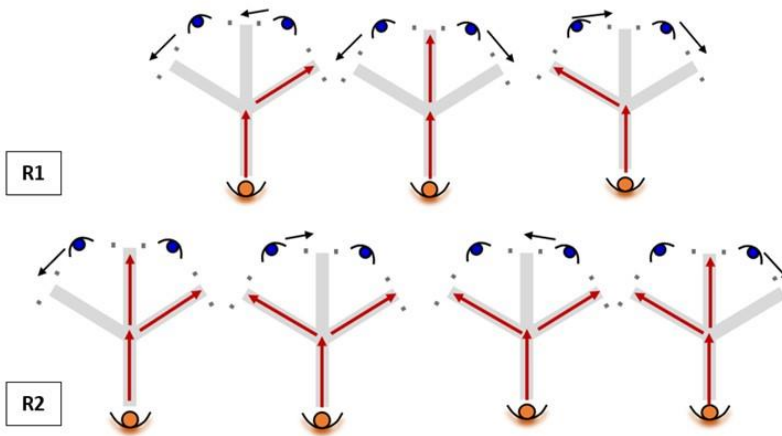
FUENTE. Elaboración propia.

Tras realizar algunas pruebas, se decidió reducir el número de personas necesarias para representar los estímulos, tratando de hacer más reproducible su tiempo de aparición, e incorporando a su vez más opciones de respuesta, intentando además hacer algo más específicos sus movimientos en relación a posibles movimientos defensivos coordinados que se puedan dar en un partido. Asimismo, se alargó ligeramente la distancia total del test para dar tiempo a conseguir mayores niveles de aceleración y deceleración, y se añadió un tramo no evaluable de 2 m finales detrás de cada puerta de salida

para evitar frenadas bruscas en el tramo evaluable que pudieran contaminar los resultados de acelerometría.

Siguiendo estas modificaciones, el test final utilizado en los artículos posteriores se compuso de dos tramos, un primer tramo de 4 m y un segundo tramo de 6 m, que podía ser en línea recta o con un cambio de dirección a izquierda o derecha de 45°. El test acababa con un añadido de 2 m hasta el último cono para evitar frenadas que pudieran distorsionar los datos de acelerometría (figura 14). En esta opción se ubicaban 2 colaboradores como estímulos en los espacios intermedios entre las 3 puertas de salida con dos posibilidades de acción, una en la que ambos colaboradores se movían tapando dos puertas de salida y dejando una libre, por la que la jugadora testada debía salir, y otra donde únicamente se mueve 1 colaborador tapando una de las puertas de salida, dejando dos opciones de salida libres (figura 14). En la intersección entre el primer tramo del test y el segundo se marcó un círculo de 1 m de radio, de forma que el movimiento del colaborador se debía dar en el momento en el que la jugadora entrase en ese círculo central, y la jugadora también debía realizar el cambio de dirección dentro de ese círculo central. El test se realizó con y sin reacción a estímulo y con y sin balón.

Figura 14. Opciones de reacción del test de AR propuesto



FUENTE. Elaboración propia.

En esta opción se utilizaron los imanes como forma de valoración del tiempo total sustituyendo las fotocélulas y se añadieron los WIMU para extraer los datos de acelerometría y variabilidad de movimiento.

### ***Análisis de los datos***

Se obtuvo la señal en crudo del dispositivo WIMU y se calculó la aceleración total ( $at$ ) usando la suma de vectores en tres dimensiones: mediolateral ( $x$ ), anteroposterior ( $y$ ) y vertical ( $z$ ). La señal ( $at$ ) se sincronizó con la señal del magnetómetro para hacer el corte de la señal correspondiente al paso entre puertas. De esta forma, el magnetómetro del WIMU generaba un pico en la señal detectable, correspondiente al paso de las jugadoras por cada una de las puertas (Pérez-Chirinos et al., 2021). Se calculó el tiempo de paso mediante el corte de la señal del magnetómetro y la SampEn de la señal de acelerometría. El cálculo de la entropía se realizó de acuerdo con

Goldberger et al. (2000) y mediante rutinas dedicadas programadas en Matlab® (The MathWorks, Massachussets, USA).

## Resultados

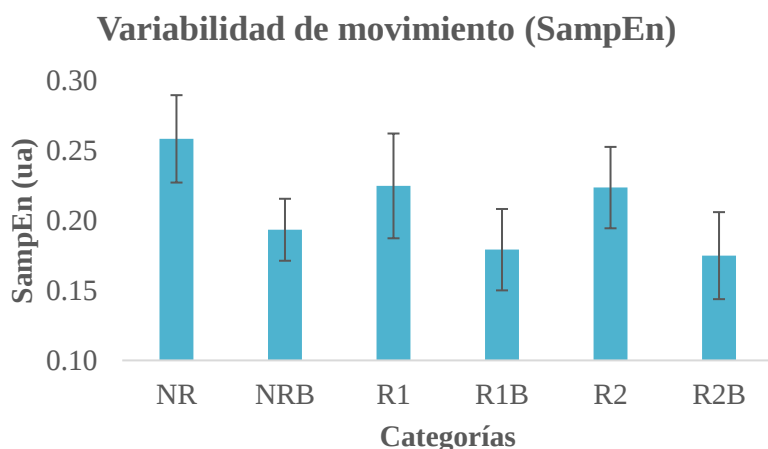
En cuanto a la entropía, se encontró que, con la inclusión de condicionantes como la reacción al estímulo y la conducción del balón, disminuyeron los valores de entropía, además, la disminución aún mayor en el uso combinado de ambos condicionantes, pero no se encontraron diferencias entre la reacción a 1 o 2 colaboradores con 1 o 2 posibilidades de salida (tabla 1 y figura 15).

Tabla 1. Valores de entropía en el test de agilidad

| Categoría | ENTROPIA (u. a.) |      |      |      |        |
|-----------|------------------|------|------|------|--------|
|           | X                | SD   | MIN  | MAX  | CV (%) |
| NR        | 0,26             | 0,03 | 0,19 | 0,31 | 12 %   |
| NRB       | 0,19             | 0,02 | 0,18 | 0,22 | 12 %   |
| R1        | 0,22             | 0,04 | 0,18 | 0,27 | 17 %   |
| R1B       | 0,18             | 0,03 | 0,17 | 0,20 | 16 %   |
| R2        | 0,22             | 0,03 | 0,19 | 0,27 | 13 %   |
| R2B       | 0,17             | 0,03 | 0,16 | 0,19 | 17 %   |

NOTA: X, promedio; SD, desviación estándar; MIN, mínimo; MAX, máximo; CV, coeficiente de variación; NR, sin reacción; R1 reacción a 1 colaborador; R2, reacción a 2 colaboradores; B, con balón; u. a., unidades arbitrarias. FUENTE. Elaboración propia.

Figura 15. Valores promedio de entropía en el test de agilidad



NOTA: NR, sin reacción; R1, reacción a 1 colaborador; R2, reacción a 2 colaboradores; B, con balón; SampEn, Sample Entropy; u. a., unidades arbitrarias. FUENTE. Elaboración propia.

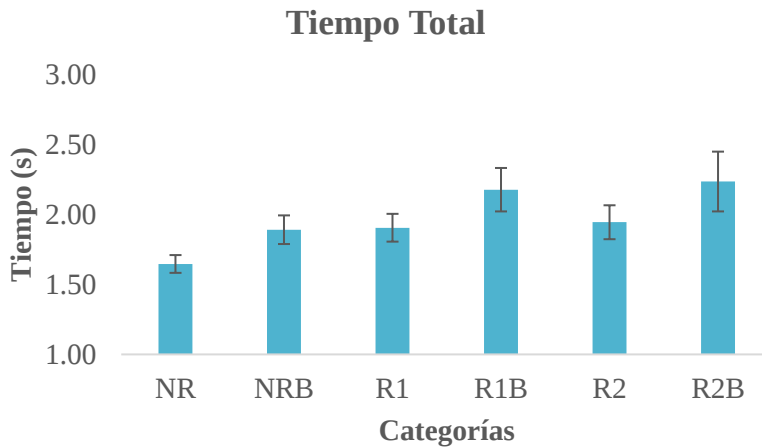
En cuanto a la variable de tiempo total, se encontró que, con la inclusión de condicionantes en el test como la reacción al estímulo y la conducción del balón, aumentaron los valores de tiempo sin que se encontraran diferencias entre la reacción a 1 o 2 colaboradores con 1 o 2 posibilidades de salida (tabla 2 y figura 16).

Tabla 2. Valores de tiempo en el test de agilidad

| TIEMPO TOTAL (s) |      |      |      |      |        |
|------------------|------|------|------|------|--------|
| Categoría        | X    | SD   | MIN  | MAX  | CV (%) |
| NR               | 1,65 | 0,06 | 1,54 | 1,73 | 4 %    |
| NRB              | 1,89 | 0,10 | 1,81 | 1,97 | 5 %    |
| R1               | 1,91 | 0,10 | 1,77 | 2,11 | 5 %    |
| R1B              | 2,18 | 0,16 | 2,03 | 2,33 | 7 %    |
| R2               | 1,94 | 0,12 | 1,81 | 2,10 | 6 %    |
| R2B              | 2,24 | 0,21 | 2,12 | 2,43 | 10 %   |

NOTA: X, promedio; SD, desviación estándar; MIN, mínimo; MAX, máximo; CV, coeficiente de variación; NR, sin reacción; R1, reacción a 1 colaborador; R2, reacción a 2 colaboradores; B, con balón. FUENTE. Elaboración propia.

Figura 16. Valores promedio de tiempo en el test de agilidad



NOTA: NR, sin reacción; R1, reacción a 1 colaborador; R2, reacción a 2 colaboradores; B, con balón; s, segundos. FUENTE. Elaboración propia.

## Discusión y conclusiones

Tras las diferentes pruebas realizadas se decidió finalmente optar por el último test descrito en forma de Y con 3 opciones de salida —al centro, derecha e izquierda— y en respuesta a dos colaboradores, debido a su mayor reproducibilidad con respecto al resto de test probados y a la similitud con los estímulos específicos que se pueden encontrar en competición, de modo que se aumentó la complejidad de la decisión con respecto a los test utilizados en estudios previos que suelen incluir la respuesta a un único estímulo, y aumentando las posibilidades de respuesta a 3 en lugar de 2 (Morral et al., 2020).

Además, se tomó la decisión de reemplazar las fotocélulas por imanes como método de medición del tiempo de paso entre puertas, debido a que se demostró que era una forma altamente confiable y

reproducible de medir el tiempo de paso en comparación con las fotocélulas ( $r^2 = 0,99$ ,  $p < 0,0001$ ) (Pérez-Chirinos et al., 2021). Este nuevo sistema nos brindó una mayor precisión en el corte de la señal, al permitir sincronizar las señales del magnetómetro y del acelerómetro. Adicionalmente, la mayor resistencia de los imanes ante posibles golpes o caídas que pudieran darse durante las pruebas, especialmente en la conducción de balón, junto con su manejabilidad, la rapidez tanto de montaje como de utilización, y el menor espacio ocupado al colocarlos en las puertas de salida del test, consolidaron su posición como la mejor alternativa frente al uso de fotocélulas.

Respecto a la toma de datos realizada, las primeras conclusiones que se extraen en cuanto a la entropía son que la variabilidad del movimiento medida a través de la entropía, calculada a partir de la señal de acelerometría, tomada mediante un WIMU a 1000 Hz situado en el centro de gravedad del cuerpo, se reduce cuando se incluye la conducción de balón con respecto a cuando el test se realiza sin balón. Además, se han encontrado mayores valores de entropía en el test realizado con conocimiento previo del cambio de dirección a realizar, es decir, sin toma de decisión, que en aquellas opciones donde se incluía toma de decisión o reacción al movimiento de uno o dos colaboradores. Es decir, la variabilidad de movimiento en el test de agilidad se ve reducida con la inclusión de condicionantes externos como la conducción de balón o la reacción a un estímulo. Parece que el aumento de la dificultad de la tarea mediante la inclusión de condicionantes externos tiende a reducir la complejidad de la estructura de la señal y, por ende, la variabilidad

de movimiento en la acción (Caballero et al., 2019; Robalo et al., 2020; Urbán et al., 2019).

En cuanto al tiempo, se observa una reducción en la velocidad de la acción con la inclusión de condicionantes como la conducción de balón o la toma de decisión debido al aumento de la dificultad de la tarea. Esto va en consonancia con lo encontrado en otros estudios, donde además se encuentra que ese aumento del tiempo necesario para completar la tarea es menor en jugadores de nivel competitivo superior tanto en la inclusión de la conducción de balón (Bekris et al., 2018; Conte et al., 2020) como en la inclusión de la reacción a un estímulo (Krolo et al., 2020; Pojskic et al., 2018; Zeljko et al., 2020).

En conclusión, parece que el aumento de la dificultad y complejidad de la tarea comporta una reducción en el número de configuraciones disponibles en el sistema motor que provocan el aumento de la regularidad (disminución de la variabilidad del movimiento medida mediante la entropía) y la disminución del rendimiento (aumento del tiempo total necesario para completar la tarea) (M. Couceiro et al., 2014).

De esta forma, tras todas las pruebas realizadas, se determinó que el test en Y con 3 opciones de salida en respuesta al movimiento de 2 colaboradores sería el que se utilizaría finalmente en los estudios 2 y 3 de la tesis. En esos estudios se sustituyeron las fotocélulas por los imanes como herramienta para controlar el tiempo, y se continuó con el análisis de la entropía de la señal de acelerometría del WIMU para valorar la variabilidad de movimiento.

### 4.3. *Estudio 2*

**Título:** Assessment of movement variability and time in a football reactive agility task depending on constraints.

**Citación:** Morral-Yepes, M., Gonzalo-Skok, O., Fernández-Valdés, B., Bishop, C., Tuyà, S., Moras, G. (2023). Assessment of movement variability and time in a football reactive agility task depending on constraints. Sports Biomechanics.

**DOI:** 10.1080/14763141.2023.2214533.

**Información de la revista:**

Sports Biomechanics

ISSN: 1752-6116, 1476-3141

Categoría: Sport Sciences

Factor de impacto: 2.2

Cuartil: Q3





# Assessment of movement variability and time in a football reactive agility task depending on constraints

Mónica Morral Yepes <sup>a,b</sup>, Oliver Gonzalo-Skok <sup>c</sup>, Bruno Fernández Valdés <sup>b</sup>,  
Chris Bishop<sup>d</sup>, Silvia Tuyà <sup>a</sup> and Gerard Moras Feliu <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Department of Sports Performance, Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC), Universitat de Barcelona (UB), Barcelona, Spain; <sup>b</sup>Department of Health Sciences, TecnoCampus, Universitat Pompeu Fabra, Research group in technology applied to high performance and health, Barcelona, Spain; <sup>c</sup>Department of Communication and Education, Universidad Loyola Andalucía, Seville, Spain; <sup>d</sup>London Sport Institute, School of Science and Technology, Middlesex University, London, UK

## ABSTRACT

The aims of this study were to (1) analyse time and movement variability in a football (soccer) agility task performed with or without ball, both in the following situations a) reacting to the movement of two players with a single exit gate (R1), b) reacting to the movement of one player with two possible exit gates (R2) and c) not reacting to a stimulus; and, (2) analyse the relationship between time and movement variability. Seventeen semi-professional female football players participated in the study. Acceleration was measured using an inertial measurement unit attached to each player through an elastic belt close to the sacrum. Entropy was calculated from the acceleration signal and time was extracted using a magnet-based timing system. Movement variability was reduced whereas time increased when adding the ball and/or the reaction, finding no differences between R1 and R2. A moderate negative correlation was found between time and movement variability ( $r = -0.56$ ,  $p < 0.01$ ). Our findings demonstrate that increasing the difficulty and/or the amount of information from the environment, decreased movement variability and increased the time. The measurement of movement variability in addition to time in an agility task can be used to determine the mastery level of players.

## ARTICLE HISTORY

Received 22 December 2022  
Accepted 11 May 2023

## KEYWORDS

"Change of direction"; "skill acquisition"; entropy; reaction; dribbling

## Introduction

Football (soccer) is a team sport characterised by intermittent high-intensity actions, with a need to continuously adapt to an ever-changing environment. During training and competition, high-intensity actions such as a change of direction manoeuvre to overcome an opponent, passing and shooting, a 1 vs. 1 dual, and a header to clear the ball, to name a few, are frequently performed (Bloomfield et al., 2007; Vescovi, 2012a, 2012b; Vescovi & Falenchuk, 2019). During a football match, a player can make more than 1,000 changes in movement patterns, which means on average a change every 3–6 s (Datson et al., 2014), and these changes are underpinned by the constant need to adapt to the ever-evolving game situation. Noting that agility is defined as the ability to make a change of

direction or speed in response to a stimulus (Sheppard & Young, 2006) and that it depends not only on physical and technical factors, but also on cognitive factors (Hojka et al., 2016), it is no surprise that this represents a critical capacity for optimising performance in football.

In recent years, research relating to agility has grown exponentially. Some studies have found that more skilled players are able to exhibit superior agility performance compared to players of a lower skill level (Fiorilli, Mitrotasios, et al., 2017; Pojskic et al., 2018; Trecroci et al., 2018). Therefore, given the prevalence of agility actions and their ability to discriminate between players of differing skill levels, it stands to reason that this capacity is of great interest to practitioners and is likely to be a key factor in team sports performance.

Agility performance is multifactorial and depends on various factors including physical (e.g., strength and speed), physiological (e.g., metabolism and fibre type), cognitive (e.g., anticipation and reaction) and coordinative factors (e.g., technical factors associated with the execution of the action) (Paul et al., 2015). However, most of the studies conducted so far have only assessed conditional aspects of agility (i.e., total time to complete the task) and, to a lesser extent, the cognitive aspects, through assessing either the decision accuracy or the decision time between the appearance of the stimulus and the first movement in the desired direction (Morral et al., 2020). To the best of our knowledge, no study has assessed the coordinative aspects related to the execution of the action of an agility task.

In recent years, several studies have analysed the coordinative aspects of different motor actions by the assessment of movement variability (MV) understood as the fluctuations in different parameters, as the force, speed, trajectory or the body movement acceleration used in our study, through the use of non-linear measurements (Caballero Sánchez et al., 2014; Harbourne & Stergiou, 2009; Urbán Infantes et al., 2012) which provides qualitative information about movement, enabling the assessment of the regularity of a time series (Orellana & De La Cruz Torres, 2010). Entropy is one of the most popular methods to measure MV. It quantifies the amount of regularity versus unpredictability of point-to-point fluctuations within large sets of time-series data (Richman & Moorman, 2000). The higher the entropy, the greater the irregularity of the signal and therefore the greater the MV. From the perspective of human movement, variability is described as the typical trial-to-trial irregularity occurring when executing multiple repetitions of the same task (Newell & James, 2008; Stergiou, 2016) or the within-trial irregularity in one repetition (Fernández-Valdés et al., 2022; Moras et al., 2018). In this sense, studies assessing MV have been conducted during different sporting actions such as a free throw in basketball (Hamilton & Reinschmidt, 2010; Robins, 2006), tennis serve (Menayo et al., 2010, 2012; Mendes et al., 2013), kicking performance in soldiers (Vagner et al., 2022), with results suggesting that lower MV is often associated with greater performance precision in the task when aiming is required. Nevertheless, in open and multi-joint tasks greater variability is detected due to the need to adapt to changing conditions (Stergiou et al., 2006). Therefore, the nature of the task has an effect on MV which tends to reduce over time through learning or training associated with a higher amount of motor control (Fernández-Valdés et al., 2022; Guimarães et al., 2020).

Also, the influence of the inclusion of different constraints has been studied by analysing the MV of the action compared to the other conditioned attempts of the task

finding an increase (Moras et al., 2018) or decrease (Caballero et al., 2019; Robalo et al., 2020; Urbán et al., 2019), in the MV when including the constraints depending on the nature and difficulty of the task among others.

However, information about the influence of a ball dribbling inclusion or a reaction to a stimulus in MV measured through entropy, combined with the outcome measure of 'time' in an agility task is rare (Morral et al., 2020). This analysis would help to better understand the implications of the inclusion of different constraints on a change of direction drill, not only at a conditional (quantitative) level, but also at a coordinative (qualitative) level by analysing the structure of the signal in different situations.

Therefore, the aims of this study were to (1) analyse the time and MV measured through the entropy of the body movement acceleration signal in a football agility task performed with or without ball, both in the following situations a) reacting to the movement of two players with a single exit gate (R1), b) reacting to the movement of one player with two possible exit gates (R2) and c) not reacting to a stimulus; and, (2) analyse the relationship between time and MV.

We hypothesised that 1) the time will be longer and MV will be lower when performing the agility task with a ball compared to without a ball, reacting to a movement compared to not reacting, and in R2 compared to R1; 2) the agility task with ball and reacting to a stimulus will have the lowest MV compared to all other conditions; and 3) there will be a negative relationship between time and MV.

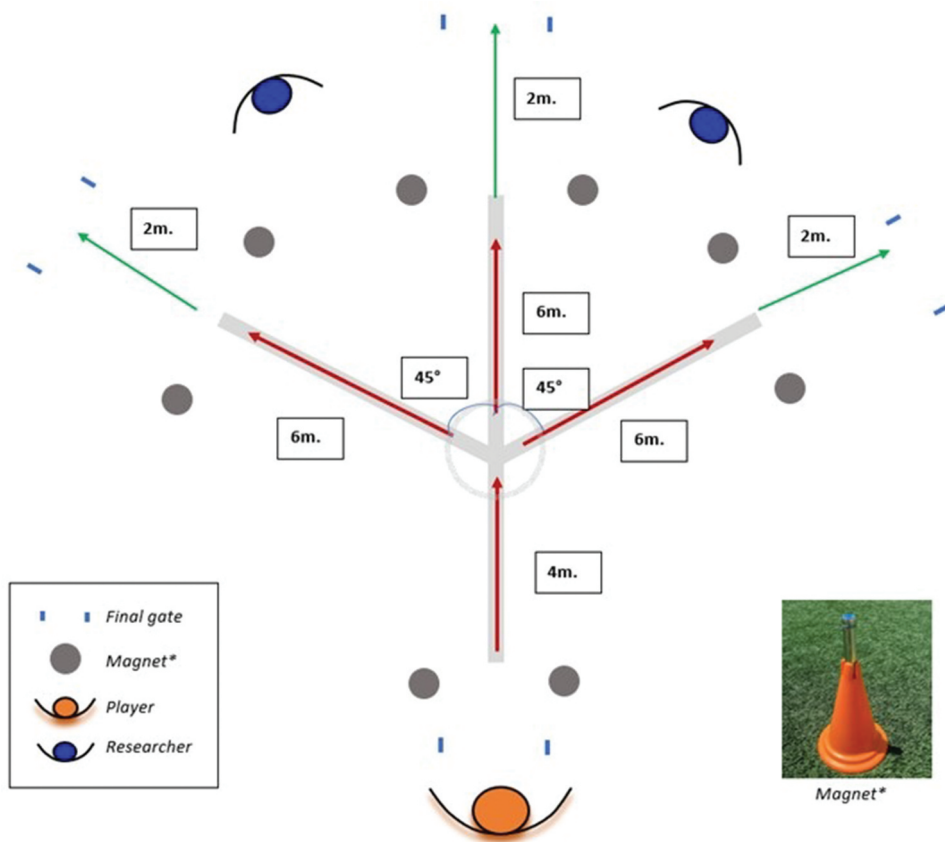
## Materials and methods

### Subjects

Data were collected from 17 elite female football players (age: 19.65 [3.24] years; body mass: 57.49 [6.79] kg; height: 1.63 [0.06] m). All participants were players from a club participating in the second Spanish division ('Reto Iberdrola') with an average of 11.24 [3.67] years of football experience. Only players who were in team training dynamics and competition were included. The procedures complied with the Declaration of Helsinki (2013) and were approved by the local ethics committee (005/CEICEGC/2021). All subjects gave their written informed consent before participating in the study.

### Procedures

The football agility task was designed based on the most typical agility test (Morral et al., 2020). It consisted of a Y-shaped course with 3 possible exit gates: middle, left and right. The total distance of the test was 10 m, consisting of a first section of 4 m to the midpoint of the test and a second section of 6 m to the final of each exit door at 45° to the right or to the left or straight ahead. At the midpoint of the agility task, a visible circle of 1 m in diameter was made to mark the point where the player must perform a change of direction to the final gate. When the player gets into the circle, the tester/s moved by covering the corresponding exits, according to a scripted sequence of imposed constraints. If the player did not perform the change of direction inside the circle, the trial was discarded and repeated later at random. Two magnets were placed as photocells at the starting gate and at each of the three possible

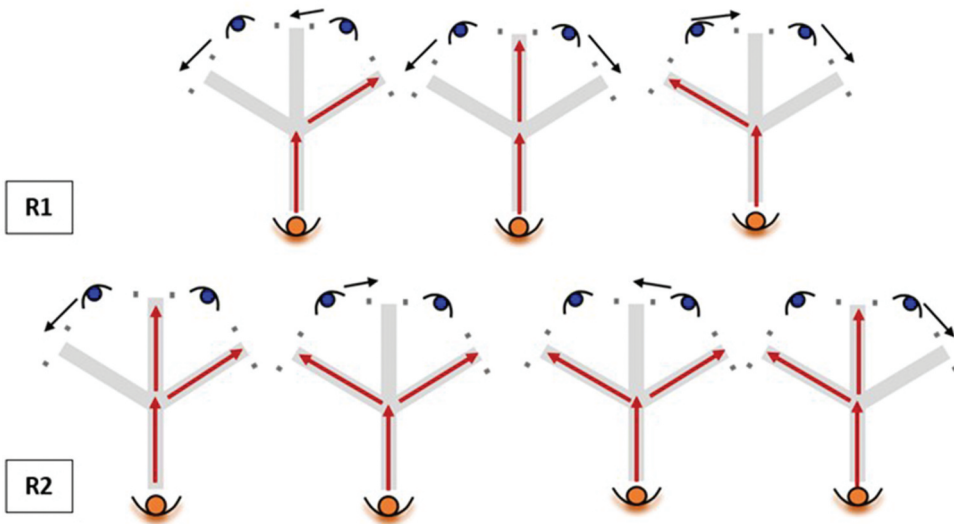


**Figure 1.** Graphical description of the football agility task.

exit gates of the task, for measuring the time of each run. This method has proven to be highly reliable in a previous study by Pérez-Chirinos et al. (2021). Beyond each final gate, two cones were placed two metres away to prevent players from slowing down before crossing the exit gate (Figure 1).

The agility task was performed with or without ball and with or without reacting to a stimulus. The reaction was performed with two options: R1 and R2 (Figure 2). The combination of options resulted in 6 global categories: 1) without ball and pre-planned; 2) without ball and reacting to a stimulus with only one possible exit gate and 3) with two possible exit gates; 4) with ball dribbling and pre-planned; 5) with ball dribbling and reacting to a stimulus with only one possible exit gate; and 6) with two possible exit gates. These options resulted in a total of 20 different runs. Each player performed each run four times in a randomised order, performing a total of 80 runs.

The protocol consisted of a standardised 10-minute warm-up consisting of running, dynamic joint mobility exercises and progressive runs. Afterwards, players were allowed to perform the task to familiarise with the different agility task options. They had a rest period of no less than 60 s after each run. After completing 10 runs, a rest of 10–15 min was taken before proceeding. The runs were assigned to each player on a random order. All trials were recorded by video.



**Figure 2.** Graphical description of the reaction possibilities (R) of the agility task. To the movement of two testers with a single exit gate (R1) or to the movement of one tester with two possible exit gates (R2).

### Material

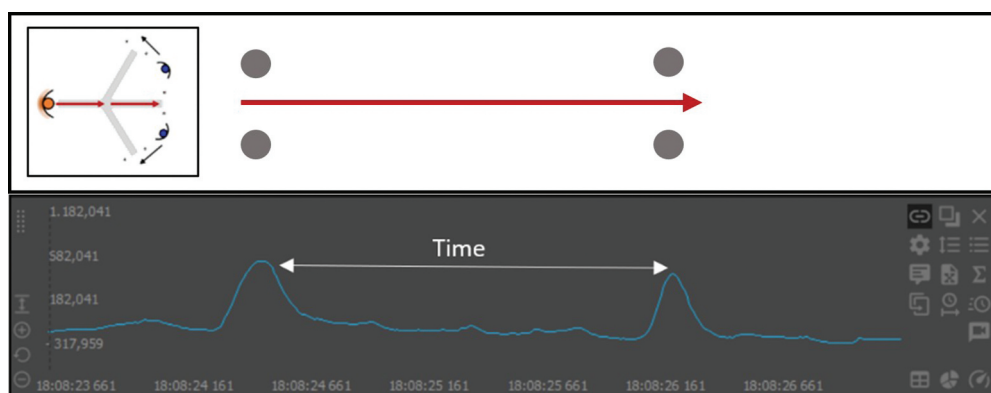
Each player acceleration was measured using an inertial measurement unit (WIMU, Realtrack Systems, Almeria, Spain), with a 3D accelerometer 100 G, recording at 1000 Hz and a 3D magnetometer recording at 100 Hz. The use of a single inertial measurement unit during the performance of a brief task at the centre of mass has been previously used and validated to capture motion (Fusca et al., 2018; Myklebust et al., 2015; Wilkinson & Lichtwark, 2021). The device was attached to the player using an elastic belt close to the sacrum with a hard fixation to avoid extraneous acceleration during running (Edwards et al., 2018).

Two magnets (D33 × 267 mm, ND35, A.C. magnets 98, Barcelona, Spain) were placed on each gate of the task following the magnet-based timing system methodology purposed by Pérez-Chirinos et al. (2021), to know the time of passage from the player through each gate. With this method, as the player cross the gate with the magnets, the magnetometer of the IMU increases the signal generating a detectable peak and allowing to cut the signal through these peaks to determine the time of each run (Figure 3).

A portable high-speed camera (Casio Exilim EX-ZR100) recording at 240 fps was placed perpendicular to the exit gates of the test to ensure that each run corresponds to the one marked on the note paper, and thus avoiding possible errors in the interpretation of the signal.

### Data analysis

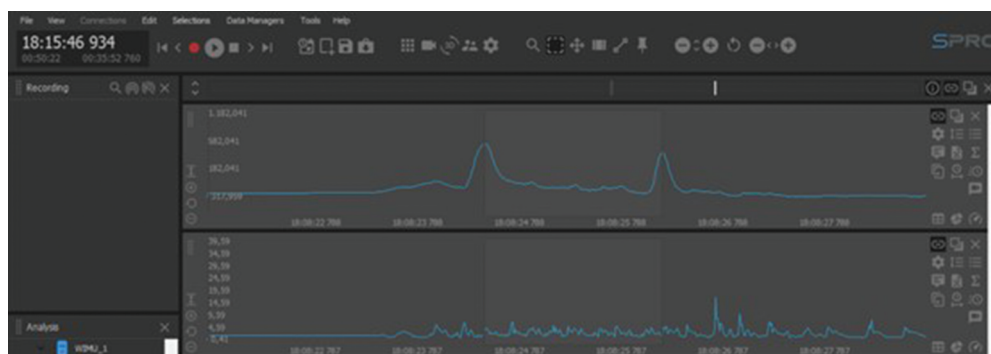
Each time a football player passed near a bar magnet, a peak in the magnetometer time series was detected (Figure 3). SPRO software (Realtrack Systems, Almeria, Spain) was used to analyse the data recorded with the IMU to calculate the elapsed time between



**Figure 3.** Graphical example of the analysis of the signal using the magnet-based timing system methodology.

peaks (Figure 3). The magnetometer registered the peaks corresponding to the time of passage through the initial and final gate of the test, allowing us to cut the acceleration signal corresponding to each trial and obtain the time spent in each run (Pérez-Chirinos et al., 2021). The devices were calibrated prior to their placement. This was done with a self-calibration system that incorporates each device in the internal configuration of the boot. During self-calibration, three aspects were taken into account: (i) leaving the device immobile for 30 s; (ii) placing it in a flat area; and (iii) no magnetic devices around it (Bastida Castillo et al., 2017). This device has reported good results in accuracy and reliability of its different sensors in previous studies (Bastida Castillo et al., 2017; Gómez-Carmona et al., 2018, 2020; Pino-Ortega et al., 2019). The raw acceleration signal from each device (Figure 4) was extracted and processed using a summation of vectors (AcelT) in three axes, mediolateral (x), anteroposterior (y) and vertical (z) calculated according to Gómez-Carmona et al. (2018).

Sample entropy (SampEn) for each accelerometry signal was calculated to determine the MV of the agility task. The total acceleration signal registered by the IMU at 1000 Hz during the running time of the task was used to calculate the



**Figure 4.** Synchronization of the magnetometer signal with the acceleration (AcelT) signal of the WIMU.

entropy, resulting in 1000 points of accelerometry for each second of task duration. Entropy calculation was done according to Goldberger et al. (2000), and through dedicated routines programmed in Matlab® (The MathWorks, Massachusetts, USA). We used the template length  $m$  of 2, and the tolerance criterion of 0.20 in the analyses.

### **Statistical analysis**

Statistical analysis was performed with SAS v9.3, SAS Institute Inc, Cary, NC, USA. The normality of time and entropy data was assessed using Shapiro-Wilk for the implementation of a mixed effects model.

A linear mixed model was used to analyse the response variables of time and entropy, with the player variable treated as the random factor. The covariance structure of the random effects used is 'variance components' (VC) where it models a different variance component for each random effect. The degrees of freedom were corrected using the Kenward–Roger method. Three independent models were run for each response variable, taking the following explanatory factors: a) ball and run, b) ball and reaction, c) ball and type of reaction.

The general relationship between time and entropy was also analysed using Pearson's correlation coefficient.

Statistical decisions have been made taking as the level of significance the value  $p \leq 0.05$ . In case of a significant result, a post-hoc 2 to 2 contrasts were performed to further investigate the differences between specific pair of variables analysed allowing us to avoid potential Type I errors that may arise when conducting multiple comparisons. To correct for type I error in multiple testing, the  $p$  values obtained were corrected using Tukey's correction.

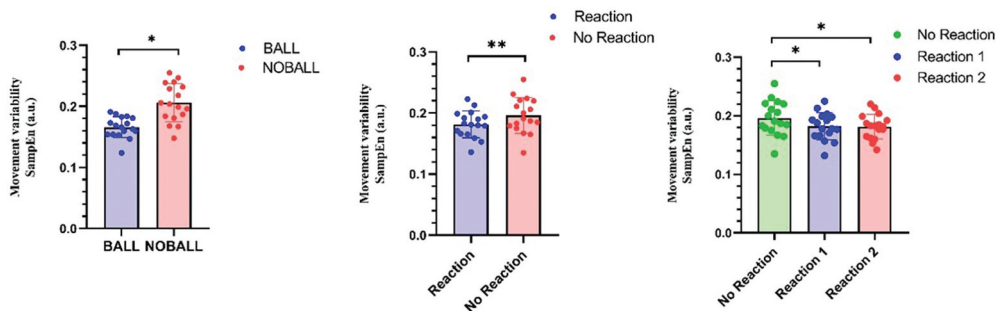
## **Results**

Based on the results of Shapiro-Wilk, the data for both time and entropy variables were found to be normally distributed ( $p > 0.05$ ). Results have been divided into two categories (time and MV). Each category has also been divided into two sections for a better understanding. The first section of each one corresponds to a univariate analysis comparing the global categories ball or no ball and reaction (R1 or R2) or no reaction, without considering the other. The second corresponds to a bivariate analysis where the influence and interaction between both categories is considered, differentiating between no reaction without ball, and with ball and with reaction without ball and with ball. Also, we added the relationship results between time and entropy.

### **Movement variability**

#### **Section 1**

Figure 5(a), shows significant differences between including the ball dribbling during the task ( $0.17 \pm 0.02$ ) and performing it without ball ( $0.21 \pm 0.04$ ), finding higher entropy without ball. In the same line, significant differences were found between performing the task in a pre-planned condition ( $0.20 \pm 0.04$ ) and reacting to a stimulus ( $0.18 \pm 0.03$ ), finding higher entropy when there is no stimulus to

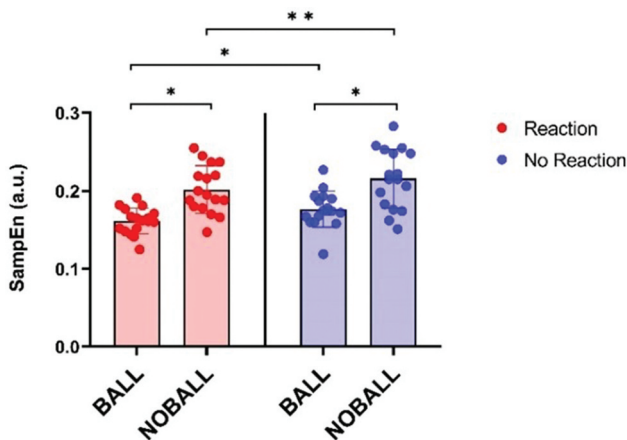


**Figure 5.** (a) Ball; (b) Reaction (c) Type of reaction. \* $p < 0.01$ ; \*\* $p > 0.05$ .

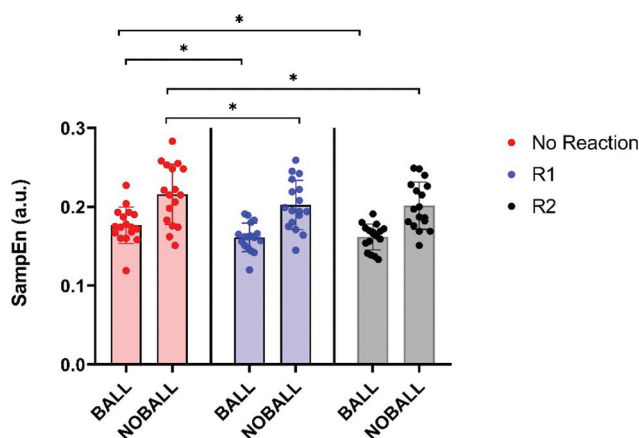
respond (Figure 5(b)). As we can see in Figure 5(c), no differences were found between R1 and R2, finding very similar entropy values between both types of reactions.

## Section 2

Figure 6 shows significant differences between doing the task with ( $0.18 \pm 0.03$ ) or without ball dribbling ( $0.22 \pm 0.04$ ) in the pre-planned condition and with ( $0.161 \pm 0.021$ ), or without ball ( $0.20 \pm 0.03$ ) and reacting to a stimulus, always finding lower entropy in the runs performed with ball dribbling. There are also significant differences between performing the task pre-planned ( $0.18 \pm 0.03$ ) and reacting to a stimulus ( $0.16 \pm 0.02$ ) when dribbling the ball. In the same way, there are significant differences between not reacting ( $0.216 \pm 0.040$ ) and reacting to a stimulus ( $0.202 \pm 0.033$ ) without ball dribbling, always finding higher entropy in the runs performed pre-planned. As we can see in Figure 7, there are no differences between both types of reaction, neither in task performed with ball dribbling nor in task performed without the ball.



**Figure 6.** MV combining the inclusion or not of reaction with the inclusion or not of the ball; \* $p < 0.01$ ; \*\* $p < 0.05$ .



**Figure 7.** MV combining the inclusion or not of reaction with the inclusion or not of the ball differentiating between R1 and R2; \* $p < 0.01$ ; \*\* $p < 0.05$ .

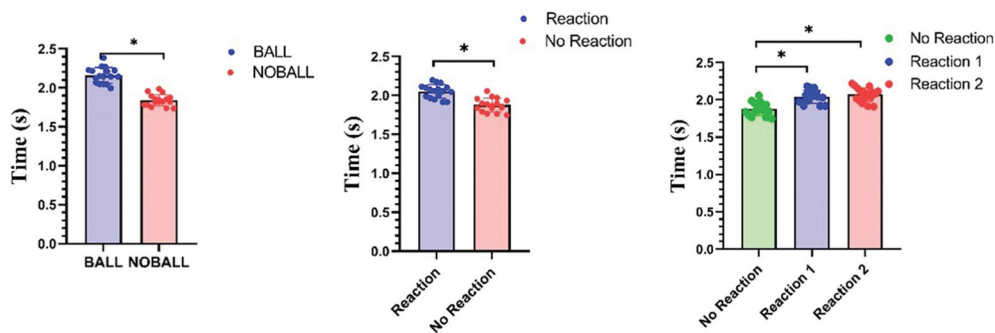
## Time

### Section 1

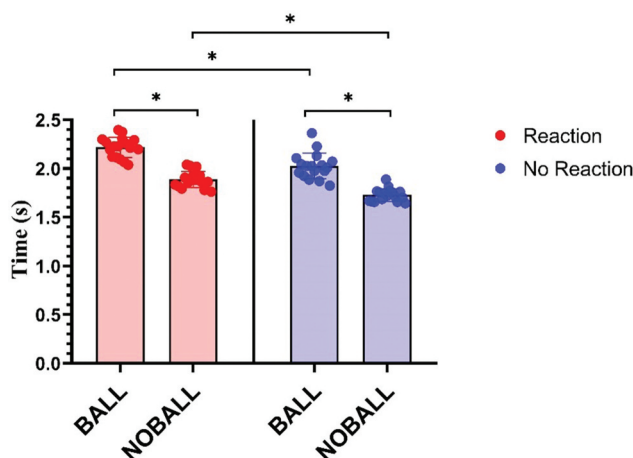
**Figure 8(a)**, shows significant differences between performing the task without the ball ( $1.84 \pm 0.13$ ) and with ball dribbling ( $2.16 \pm 0.19$ ), finding faster times in runs performed without the ball. In the same line, significant differences were found between not reacting to a stimulus ( $1.88 \pm 0.20$ ) and reacting to a stimulus ( $2.05 \pm 0.22$ ), finding lower times when the task is performed pre-planned (**Figure 8(b)**). As we can see in **Figure 8(c)**, no differences were found between both types of reaction.

### Section 2

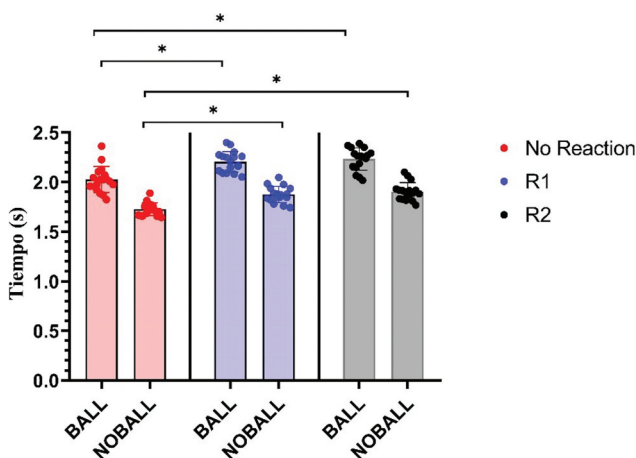
**Figure 9** shows significant differences between times performed with ( $2.03 \pm 0.17$ ) and without ball ( $1.73 \pm 0.07$ ) in a pre-planned condition and with ( $2.22 \pm 0.18$ ) or without ball dribbling ( $1.89 \pm 0.11$ ) when reacting to a stimulus. In both cases, speed was lower when the agility task was performed with the ball. There are also significant differences between performing the task with ball and without reacting to a stimulus ( $2.03 \pm 0.17$ ), and reacting to stimulus ( $2.22 \pm 0.18$ ). In the same way, there are significant differences



**Figure 8.** (a) Ball; (b) Reaction (c) Type of reaction. \* $p < 0.01$ .



**Figure 9.** Time combining the inclusion or not of reaction with the inclusion or not of the ball; \* $p < 0.01$ ; \*\* $p < 0.05$ .



**Figure 10.** Time combining the inclusion or not of reaction with the inclusion or not of the ball differentiating between R1 and R2; \* $p < 0.01$ .

between performing the task without ball and reacting ( $1.89 \pm 0.11$ ) or not ( $1.73 \pm 0.07$ ) to a stimulus, always finding higher speed in the runs performed pre-planned. As we can see in Figure 10, there are no differences between R1 and R2, neither in with ball dribbling nor without ball.

Finally, we found a negative moderate correlation between time and entropy ( $r = -0.56$ ,  $p < 0.01$ ), finding a higher movement variability at higher speeds.

## Discussion and implications

In partial agreement with our hypothesis, we found slower time and lower MV with increasing difficulty and/or environmental information in a soccer agility task, but no

differences were found between the complexity of the reaction (R1 vs R2). In addition, we found a moderate negative correlation between time and MV.

Increased difficulty or increased environmental information in the task leads to a reduction in the number of configurations available in the motor system, increasing movement regularity (i.e., decreasing MV) and decreasing performance (Couceiro et al., 2014). Furthermore, when the ball and the reaction to a stimulus participate together in the task, the MV is reduced and the speed becomes even slower, with the ball having the greatest influence on the reduction of MV and time. Consequently, the greater regularity of movement adopted by these players with the ball and reacting to a stimulus may imply the need to reduce the complexity of the action to cope with other variations in the environment.

We should highlight that the agility task performed in this study represents the execution of types of actions involved in football (i.e., change of direction, dribbling the ball, reaction to an opponent) that players have been repeating for more than 10 years in training. We can deduce a high mastery of the task associated with the low MV found in the results. In this sense, many studies have shown that experienced players show less variability associated with a higher motor control (Fernández-Valdés et al., 2020, 2022; Langdown et al., 2012; Menayo et al., 2012). In addition, it has been stated that with the training, learning and mastery of any given ability or task, as the control and accuracy of the skill increases, the MV of said action is reduced, which has the potential to result in plateaus in coordinative (qualitative) performance levels if no modifications are made to the task constraints (Fernández-Valdés et al., 2020, 2022).

The reduction in MV observed when including constraints is also in line with other studies that have assessed the influence of including different constraints to increase the difficulty of a given motor task (Caballero et al., 2019; Caballero Sánchez et al., 2016; Couceiro et al., 2014; Robalo et al., 2020; Urbán et al., 2019; Wolfgang & Fabian, 2019). It has been stated that the relationship between system complexity and performance depends on task constraints and their level of difficulty, finding lower complexity in the structure of the signal when tasks increase their level of difficulty by adding constraints (Caballero et al., 2019; Robalo et al., 2020; Urbán et al., 2019; Vaillancourt & Newell, 2002, 2003). The greater reduction found in MV with the inclusion of the ball dribbling and the reaction together, reinforce the fact that the inclusion of more constraints to a task causes a greater reduction in the degrees of freedom reducing the movement possibilities of the player. Thus, the requirements on a player are to become more stable in their action to reduce the complexity demanded by the context trying to adapt to the game situation (Caballero Sánchez et al., 2016; Couceiro et al., 2014; Guimarães et al., 2020; Harbourne & Stergiou, 2009).

No differences were found according to the complexity of the reaction to the stimulus, finding very similar levels of MV in R1 and R2. This could be due to the low overall complexity the stimulus represented for the players, and because they tended to reduce the difficulty filtering some of the information from the environment. This may have been particularly evident in R2, where the players focused their attention on a single stimulus to discard some of the possibilities and find the solution faster.

In line with the results found in our research, other studies have also shown an increase in movement time in an agility task including the reaction to a stimulus compared to a pre-planned change of direction task (Andrašić et al., 2021; Fiorilli,

Iuliano, et al., 2017; Pojskic et al., 2018). This behaviour has also been observed when including a ball in an agility task (Conte et al., 2020; Ramirez-Campillo et al., 2021; Scanlan et al., 2018). Specifically, smaller speed reductions were found between performing the pre-planned change of direction task compared to including the reaction to a stimulus at higher performance-level athletes (Krolo et al., 2020; Pojskic et al., 2018; Zeljko et al., 2020), and when performing the change of direction including the ball compared to performing it without the ball (Bekris et al., 2018; Conte et al., 2020). Based on the current results, a higher skill at a coordinative and cognitive level is related to a smaller reduction in speed when including the constraints of ball dribbling and the reaction to a stimulus compared to the base category (pre-planned and without ball).

Reduced levels of MV combined with high speed in an agility task can mean a high mastery of the skill and the achievement of a final stage of learning (Guimarães et al., 2020). In this scenario, we could expect the player to have achieved a high level of performance in the specific task and, therefore, a low capacity to further improve coordinative performance through that task, suggesting the need for task modifications to trigger new adaptations. The measurement of MV during training, combined with the assessment of outcome measures such as time to completion during an agility drill, can help us to infer a higher or lower trainability of the task (Dhawale et al., 2017; Seifert et al., 2013; Sternad, 2018).

We found a moderate negative correlation ( $r = -0.56$ ) between the MV and the time spent to perform the task. This behaviour can be explained if we consider that faster movements require larger motor unit recruitment than slower movements. As a consequence, the measurement of faster movement patterns may have more 'noise' and thus, more within-trial acceleration signal variability (Sutter et al., 2021; Wang et al., 2021).

### ***Practical implications***

In order to train the speed in change of direction tasks, it is often recommended to perform them without external constraints (i.e., pre-planned change of direction tasks) as it allows maximum speed to be achieved. However, maximum speed training in these kinds of agility tasks is unspecific and in turn insufficient to guarantee performance improvements when performing changes of direction specific to the target sport (i.e., with ball and reacting to a stimulus). For this reason, it is advisable to perform agility tasks with and without constraints during physical training.

The incorporation of constraints in the task decreases conditional performance and movement variability in different proportions depending on the athlete. Therefore, physical coaches should prioritise training with or without constraints depending on the needs of the athlete.

Physical coaches should aim to improve speed when using task constraints while maintaining or decreasing MV to achieve a higher level of performance in the agility action.

The reaction to the movement of other players in an agility task could be used as a cognitive constraint. In this case, the MV will be similar as there will be one or two response options available, so they can be used interchangeably.

The measurement of time and MV when performing the agility task can allow coaches to know the level of performance not only from the conditional side, but also from the perspective of motor control.

### **Limitations**

A potential limitation of the study is that the MV was measured using the acceleration signal extracted from a single IMU placed at the centre of mass. It is important to acknowledge that our understanding is that greater variability/irregularity in the acceleration signal taken at the subject's centre of gravity with the IMU, may represent greater MV. In the future, it would be interesting to expand the number of IMUs in different anatomical sites".

### **Conclusions**

Our findings demonstrate that increasing the difficulty of the agility task with the inclusion of the ball, and/or increasing the amount of information from the environment with the inclusion of a reaction to a stimulus, the subjects decreased MV and executed the response more slowly. Furthermore, the subjects employed similar MV and movement time in both, reacting to the movement of two testers with a single exit gate (R1) and reacting to the movement of one tester with two possible finishing gates (R2). Finally, there is a moderate negative relationship between movement time and entropy confirming that faster movements have more irregularity on the acceleration signal and thus more within-trial variability.

### **Acknowledgments**

The authors would like to express their thanks to the participants for their enthusiasm and cooperation during the study.

### **Disclosure statement**

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

### **Funding**

The author(s) reported that there is no funding associated with the work featured in this article.

### **ORCID**

Mónica Morral Yepes  <http://orcid.org/0000-0002-6365-3776>  
Oliver Gonzalo-Skok  <http://orcid.org/0000-0002-7679-2062>  
Bruno Fernández Valdés  <http://orcid.org/0000-0003-3232-1178>  
Silvia Tuyà  <http://orcid.org/0000-0001-5159-7925>  
Gerard Moras Feliu  <http://orcid.org/0000-0001-5566-3627>

## References

- Andrašić, S., Gušić, M., Stanković, M., Mačak, D., Bradić, A., Sporiš, G., & Trajković, N. (2021). Speed, change of direction speed and reactive agility in adolescent soccer players: Age related differences. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11), 5883. <https://doi.org/10.3390/ijerph18115883>
- Bastida Castillo, A., Gómez Carmona, C. D., Pino Ortega, J., & de La Cruz Sánchez, E. (2017). Validity of an inertial system to measure sprint time and sport task time: A proposal for the integration of photocells in an inertial system. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 17(4), 600–608. <https://doi.org/10.1080/24748668.2017.1374633>
- Bekris, E., Gissis, I., & Kounalakis, S. (2018). The dribbling agility test as a potential tool for evaluating the dribbling skill in young soccer players. *Research in Sports Medicine*, 26(4), 425–435. <https://doi.org/10.1080/15438627.2018.1492395>
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007). Physical demands of different positions in FA premier league soccer. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(1), 63–70.
- Caballero, C., Davids, K., Heller, B., Wheat, J., & Moreno, F. J. (2019). Movement variability emerges in gait as adaptation to task constraints in dynamic environments. *Gait & Posture*, 70, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.02.002>
- Caballero Sánchez, C., Barbado Murillo, D., Davids, K., & Moreno Hernández, F. J. (2016). Variations in task constraints shape emergent performance outcomes and complexity levels in balancing. *Experimental Brain Research*, 234(6), 1611–1622. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4563-2>
- Caballero Sánchez, C., Barbado Murillo, F., & Moreno Hernández, F. (2014). Non-linear tools and methodological concerns measuring human movement variability: An overview. *European Journal of Human Movement*, 32, 61–81. <https://doi.org/10.21134/eurjhm.2014.32.319>
- Conte, D., Scanlan, A. T., Dalbo, V. J., Gang, S. Z., Smith, M. R., Bietkis, T., & Matulaitis, K. (2020). Dribble deficit quantifies dribbling speed independently of sprinting speed and differentiates between age categories in pre-adolescent basketball players. *Biology of Sport*, 37(3), 261–267. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2020.95637>
- Couceiro, M., Clemente, F., Dias, G., Mendes, P., Martins, F., & Mendes, R. (2014). On an entropy-based performance analysis in sports. *On an Entropy-Based Performance Analysis in Sports*, 20. <https://doi.org/10.3390/ecea-1-a008>
- Datson, N., Hulton, A., Andersson, H., Lewis, T., Weston, M., Drust, B., & Gregson, W. (2014). Applied physiology of female soccer: An update. *Sports Medicine*, 44(9), 1225–1240. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0199-1>
- Dhawale, A. K., Smith, M. A., & Ölveczky, B. P. (2017). The role of variability in motor learning. *Annual Review of Neuroscience*, 40(May), 479–498. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-072116-031548>
- Edwards, S., White, S., Humphreys, S., Robergs, R., & O'Dwyer, N. (2018). Caution using data from triaxial accelerometers housed in player tracking units during running. *Journal of Sports Sciences*, 37(7), 810–818. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1527675>
- Fernández-Valdés, B., Jones, B., Hendricks, S., Weaving, D., Ramirez-Lopez, C., Whitehead, S., Gonzalez, J., Gisbert-Orozco, J., Trabucchi, M., & Moras, G. (2022). A novel application of entropy analysis for assessing changes in movement variability during cumulative tackles in young elite rugby league players. *Biology of Sport*, 40(1), 161–170. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.112965>
- Fernández-Valdés, B., Sampaio, J., Exel, J., González, J., Tous-Fajardo, J., Jones, B., & Moras, G. (2020). The influence of functional flywheel resistance training on movement variability and movement velocity in elite rugby players. *Frontiers in Psychology*, 11(June). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01205>
- Fiorilli, G., Iuliano, E., Mitrotasios, M., Pistone, E. M., Aquino, G., DiCostanzo, A., Calcagno, G., & DiCagno, A. (2017). Are change of direction speed and reactive agility useful for determining the optimal field position for young soccer players? *Journal of Sports Science and Medicine*, 16(2), 247–253.

- Fiorilli, G., Mitrotasios, M., Iuliano, E., Pistone, E. M., Aquino, G., Calcagno, G., & DiCagno, A. (2017). Agility and change of direction in soccer: Differences according to the player ages. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 57(12), 1597–1604. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06562-2>
- Fusca, M., Negrini, F., Perego, P., Magoni, L., Molteni, F., & Andreoni, G. (2018). Validation of a wearable IMU system for gait analysis: Protocol and application to a new system. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(7), 1–16. <https://doi.org/10.3390/app8071167>
- Goldberger, A. L., Amaral, L. A. N., Glass, L., Hausdorff, J. M., Ivanov, P. C., Mark, R. G., Mietus, J. E., Moody, G. B., Peng, C., & Stanley, H. E. (2000). PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet. Components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation*, 101(23), e215–220. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.101.23.e215>
- Gómez-Carmona, C. D., Bastida-Castillo, A., García-Rubio, J., Ibáñez, S. J., & Pino-Ortega, J. (2018). Static and dynamic reliability of WIMU PRO<sup>TM</sup> accelerometers according to anatomical placement. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering & Technology*, 233(2), 238–248. <https://doi.org/10.1177/1754337118816922>
- Gómez-Carmona, C. D., Bastida-Castillo, A., González-Custodio, A., Olcina, G., & Pino-Ortega, J. (2020). Using an inertial device (WIMU PRO) to quantify neuromuscular load in running: Reliability, convergent validity, and influence of type of surface and device location. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(2), 365–373. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003106>
- Guimarães, A. N., Ugrinowitsch, H., Dascal, J. B., Porto, A. B., & Okazaki, V. H. A. (2020). Freezing degrees of freedom during motor learning: A systematic review. *Motor Control*, 24(3), 457–471. <https://doi.org/10.1123/MC.2019-0060>
- Hamilton, G. R., & Reinschmidt, C. (2010). Optimal trajectory for the basketball free throw. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15(5), 491–504. <https://doi.org/10.1080/026404197367137>
- Harbourne, R. T., & Stergiou, N. (2009). Movement variability and the use of nonlinear tools: Principles to guide physical therapist practice. *Physical Therapy*, 89(3), 267–282. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080130>
- Hojka, V., Stastny, P., Rehak, T., Gołas, A., Mostowik, A., Zawart, M., & Musálek, M. (2016). A systematic review of the main factors that determine agility in sport using structural equation modeling. *Journal of Human Kinetics*, 52(1), 115–123. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0199>
- Krolo, A., Gilic, B., Foretic, N., Pojskic, H., Hammami, R., Spasic, M., Uljevic, O., Versic, S., & Sekulic, D. (2020). Agility testing in youth football (soccer) players; evaluating reliability, validity, and correlates of newly developed testing protocols. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), 294. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010294>
- Langdown, B. L., Bridge, M., & Li, F. X. (2012). Movement variability in the golf swing. *Sports Biomechanics*, 11(2), 273–287. <https://doi.org/10.1080/14763141.2011.650187>
- Menayo, R., Fuentes, J. P., Moreno, F. J., Reina, R., & García, J. A. (2010). Relación entre variabilidad de la práctica y variabilidad en la ejecución del servicio plano en tenis. *Relación Entre Variabilidad de La Práctica y Variabilidad En La Ejecución Del Servicio Plano En Tenis*, 25, 75–92.
- Menayo, R., Moreno, F. J., Fuentes, J. P., Reina, R., & Damas, J. S. (2012). Relationship between motor variability, accuracy, and ball speed in the tennis serve. *Journal of Human Kinetics*, 33(1), 45–53. <https://doi.org/10.2478/v10078-012-0043-3>
- Mendes, P. C., Fuentes, J. P., Mendes, R., Martins, F. M. L., Clemente, F. M., & Couceiro, M. S. (2013). The variability of the serve toss in tennis under the influence of artificial crosswind. *Journal of Sports Science & Medicine*, 12(2), 309–315.
- Moras, G., Fernández-Valdés, B., Vázquez-Guerrero, J., Tous-Fajardo, J., Exel, J., & Sampaio, J. (2018). Entropy measures detect increased movement variability in resistance training when elite rugby players use the ball. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 21(12), 1286–1292. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.05.007>

- Morral, M., Moras, G., Bishop, C., & Gonzalo-Skok, O. (2020). Assessing the reliability and validity of agility testing in team sports: A systematic review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003753>
- Myklebust, H., Gløersen, Ø., & Hallén, J. (2015). Validity of ski skating center-of-mass displacement measured by a single inertial measurement unit. *Journal of Applied Biomechanics*, 31(6), 492–498. <https://doi.org/10.1123/jab.2015-0081>
- Newell, K., & James, E. G. (2008). The amount and structure of human movement variability. In Y. Hong & R. Bartlett (Eds.), *Handbook of biomechanics and human movement science* (pp. 93–104). Routledge.
- Orellana, J. N., & De La Cruz Torres, B. (2010). La entropía y la irreversibilidad temporal multiescala en el análisis de sistemas complejos en fisiología humana. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, 3(1), 29–32.
- Paul, D. J., Gabbett, T. J., & Nassis, G. P. (2015). Agility in team sports: Testing, training and factors affecting performance. *Sports Medicine*, 46(3), 421–442. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0428-2>
- Pérez-Chirinos, C., Fernández-Valdés, B., Morral-Yepes, M., Tuyà, S., Padullés, J. M., & Moras, G. (2021). Validity of a magnet - based timing system using the magnetometer built into an IMU. *Sensors*, 21(17), 5773. <https://doi.org/10.3390/s21175773>
- Pino-Ortega, J., Bastida-Castillo, A., Hernández-Belmonte, A., & Gómez-Carmona, C. D. (2019). Validity of an inertial device for measuring linear and angular velocity in a leg extension exercise. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering & Technology*, 234(1), 30–36. <https://doi.org/10.1177/1754337119878296>
- Pojkic, H., Åslin, E., Krolo, A., Jukic, I., Uljevic, O., Spasic, M., & Sekulic, D. (2018). Importance of reactive agility and change of direction speed in differentiating performance levels in junior soccer players: Reliability and validity of newly developed soccer-specific tests. *Frontiers in Physiology*, 9(May), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00506>
- Ramírez-Campillo, R., Gentil, P., Moran, J., Dalbo, V. J., & Scanlan, A. T. (2021). Dribble deficit enables measurement of dribbling speed independent of sprinting speed in collegiate, male, basketball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(7), 2040–2045. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003030>
- Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate and sample entropy. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 278(6), 2039–2049. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.2000.278.6.h2039>
- Robalo, R. A. M., Diniz, A. M. F. A., Fernandes, O., & Passos, P. J. M. (2020). The role of variability in the control of the basketball dribble under different perceptual setups. *European Journal of Sport Science*, 21(4), 521–530. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1759695>
- Robins, M. (2006). The effect of shooting distance on movement variability in basketball. *Journal of Human Movement Studies*, 50(4), 217–238.
- Scanlan, A. T., Wen, N., Spiteri, T., Milanović, Z., Conte, D., Guy, J. H., Delextrat, A., & Dalbo, V. J. (2018). Dribble deficit: A novel method to measure dribbling speed independent of sprinting speed in basketball players. *Journal of Sports Sciences*, 36(22), 2596–2602. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1470217>
- Seifert, L., Button, C., & Davids, K. (2013). Key properties of expert movement systems in sport: An ecological dynamics perspective. *Sports Medicine*, 43(3), 167–178. <https://doi.org/10.1007/s40279-012-0011-z>
- Sheppard, J., & Young, W. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 919–932. <https://doi.org/10.1080/02640410500457109>
- Stergiou, N. (2016). *Nonlinear analysis for human movement variability* (N. Stergiou ed.; 1st ed.). CRC Press (Taylor & Francis Group).
- Stergiou, N., Harbourne, R. T., & Cavanaugh, J. T. (2006). Optimal movement variability: A new theoretical perspective for neurologic physical therapy. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 30(3), 120–129. <https://doi.org/10.1097/01.NPT.0000281949.48193.d9>

- Sternad, D. (2018). It's not (only) the mean that matters: Variability, noise and exploration in skill learning. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 20, 183–195. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2018.01.004>
- Sutter, K., Wijdenes, L. O., Van Beers, R. J., & Medendorp, W. P. (2021). Movement preparation time determines movement variability. *Journal of Neurophysiology*, 125(6), 2375–2383. <https://doi.org/10.1152/jn.00087.2020>
- Trecroci, A., Longo, S., Perri, E., Iaia, F. M., & Alberti, G. (2018). Field-based physical performance of elite and sub-elite middle-adolescent soccer players. *Research in Sports Medicine*, 27(1), 60–71. <https://doi.org/10.1080/15438627.2018.1504217>
- Urbán, T., Caballero, C., Barbado, D., Moreno, F. J., & Philip, B. A. (2019). Do intentionality constraints shape the relationship between motor variability and performance? *PLOS One*, 14(4), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214237>
- Urbán Infantes, T., Hernández Davó, H., & Moreno Hernández, F. (2012). Variabilidad cinemática en relación con el rendimiento en el saque en jóvenes tenistas. *Variabilidad Cinemática En Relación Con El Rendimiento En El Saque En Jóvenes Tenistas*, 29(29), 49–60.
- Vagner, M., Cleather, D. J., Kubový, P., Hojka, V., & Stastny, P. (2022). Principal component analysis can be used to discriminate between elite and sub-elite kicking performance. *Motor Control*, 27(2), 1–19. <https://doi.org/10.1123/mc.2022-0073>
- Vaillancourt, D. E., & Newell, K. M. (2002). Changing complexity in human behavior and physiology through aging and disease. *Neurobiology of Aging*, 23(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0197-4580\(01\)00247-0](https://doi.org/10.1016/S0197-4580(01)00247-0)
- Vaillancourt, D. E., & Newell, K. M. (2003). Aging and the time and frequency structure of force output variability. *Journal of Applied Physiology*, 94(3), 903–912. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00166.2002>
- Vescovi, J. D. (2012a). Sprint profile of professional female soccer players during competitive matches: Female Athletes in Motion (FAiM) study. *Journal of Sports Sciences*, 30(12), 1259–1265. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.701760>
- Vescovi, J. D. (2012b). Sprint speed characteristics of high-level American female soccer players: Female Athletes in Motion (FAiM) study. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 15(5), 474–478. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.03.006>
- Vescovi, J. D., & Falenchuk, O. (2019). Contextual factors on physical demands in professional women's soccer: Female athletes in motion study. *European Journal of Sport Science*, 19(2), 141–146. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1491628>
- Wang, W., Feng, Q., Shangxiao, L., & Wang, L. (2021). Effects of motor skill level and speed on movement variability during running. *Journal of Biomechanics*, 127, 110680. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110680>
- Wilkinson, R. D., & Lichtwark, G. A. (2021). Evaluation of an inertial measurement unit-based approach for determining centre-of-mass movement during non-seated cycling. *Journal of Biomechanics*, 126, 110441. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110441>
- Wolfgang, S., & Fabian, H. (2019). Effects of complex movements on the brain as a result of increased decision-making. *Journal of Complexity in Health Sciences*, 2(2), 40–45. <https://doi.org/10.21595/chs.2019.21190>
- Zeljko, I., Gilic, B., & Sekulic, D. (2020). Validity, reliability and correlates of futsal-specific pre-planned and non-planned agility testing protocols. *Kinesiology Slovenica*, 26(2), 25–34. <https://doi.org/10.52165/kinsi.26.2.25-34>



#### 4.4. *Estudio 3*

**Título:** Are change of direction speed and agility different abilities from time and coordinative perspectives?

**Citación:** Morral-Yepes, M., Gonzalo-Skok, O., Dos Santos, T., Moras, G. (2023). Are change of direction speed and agility different abilities from time and coordinative perspectives? Plos One.

**DOI:** 10.1371/journal.pone.0295405.

**Información de la revista:**

Plos One

ISSN: 1932-6203

Categoría: Multidisciplinary sciences

Factor de impacto: 3.7

Cuartil: Q1



RESEARCH ARTICLE

# Are change of direction speed and agility different abilities from time and coordinative perspectives?

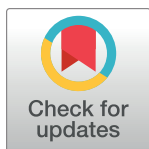
Mónica Morral-Yepes<sup>1,2</sup>, Oliver Gonzalo-Skok<sup>3†\*</sup>, Thomas Dos Santos<sup>4‡</sup>, Gerard Moras Feliu<sup>1</sup>

**1** Department of Sports Performance, INEFC, Universitat de Barcelona, Barcelona, Spain, **2** Department of Health Sciences, Research Group in Technology Applied to High Performance and Health, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Spain, **3** Department of Communication and Education, Universidad Loyola Andalucía, Sevilla, Spain, **4** Department of Sport and Exercise Sciences, Musculoskeletal Science and Sports Medicine Research Center, Manchester Metropolitan University, Manchester, United Kingdom

☞ These authors contributed equally to this work.

‡ OGS and TDS also contributed equally to this work.

\* [oligons@hotmail.com](mailto:oligons@hotmail.com)



## OPEN ACCESS

**Citation:** Morral-Yepes M, Gonzalo-Skok O, Dos Santos T, Moras Feliu G (2023) Are change of direction speed and agility different abilities from time and coordinative perspectives? PLoS ONE 18(12): e0295405. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295405>

**Editor:** Ersan Arslan, Tokat Gaziosmanpasa University Tasliciftlik Campus: Tokat Gaziosmanpasa Universitesi, TURKEY

**Received:** October 11, 2023

**Accepted:** November 21, 2023

**Published:** December 7, 2023

**Peer Review History:** PLOS recognizes the benefits of transparency in the peer review process; therefore, we enable the publication of all of the content of peer review and author responses alongside final, published articles. The editorial history of this article is available here: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295405>

**Copyright:** © 2023 Morral-Yepes et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Data Availability Statement:** Data from the current study can be found in the following DOI: [10.6084/m9.figshare.24198516](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.24198516).

## Abstract

This study aimed to test whether agility and change of direction speed (COD) are independent capacities using the same movement pattern (1) in terms of the completion time and (2) the entropy. Seventeen semi-professional female football players participated in the study. The agility task consisted of a Y-shaped (45° COD) task with three possible exit options (center, right and left) performed pre-planned or in reaction to the movement of two testers (i.e., blocking exit gates). Players' acceleration was measured using an inertial measurement unit. Entropy was calculated from the acceleration signal and completion time was extracted using a magnet-based timing system. Significantly greater times and lower entropy ( $p < 0.001$ ) were found during agility runs to pre-planned COD runs. Furthermore, weak to moderate correlations were found between COD and agility for both completion time ( $r = 0.29$ ,  $p < 0.001$ ) and entropy ( $r = 0.53$ ,  $p < 0.001$ ,  $r^2 = 28.1\%$ ). These results highlight that COD speed and agility are independent capacities and skills, and as such, should be tested and trained as distinct, separate qualities. Modifying task constraints including a reactive stimulus (i.e., cognitive factors), is essential for increasing task complexity by altering the biomechanical and coordinative aspects of the action.

## Introduction

Team sports are characterized by a combination of actions that includes constantly changing movement patterns and speed depending on the sport situation [1]. Due to their intrinsic nature, agility is a key performance indicator in multidirectional sports [2–4], as players must constantly change direction in response to various stimuli based on the game situation. Along the same line, researchers have shown that agility can distinguish between different age categories and performance levels [3–5]. Agility has been defined as a “rapid and accurate whole-

**Funding:** The author(s) received no specific funding for this work.

**Competing interests:** The authors have declared that no competing interests exist.

body movement with change of velocity, direction, or movement pattern in response to a stimulus” [6], involving perceptual-cognitive factors, and physical and technical factors related to change of direction (COD) speed [7]. As such, agility and COD speed have been differentiated into two concepts during the last few years. Agility is the ability to react/anticipate a stimulus and focuses on perceptive/cognitive factors [8]. On the other hand, COD speed is the ability to decelerate, reverse or change movement direction, and re-accelerate without reacting to an external stimulus [9–11]. Based on this differentiation in concept, there has recently been a growing number of studies dedicated to testing whether or not COD speed and agility are independent abilities and skills, finding a positive answer to this question in most cases (i.e. better COD speed does not necessarily equate to better agility performance, and vice versa) [12–14]. While insightful, the main limitation with previous research is that the conclusions were based solely on result variables as completion times, and the use of linear measures, based on the analysis of the data dispersion in relation to mean, such as standard deviation (SD) or the coefficient of variation (CV), for analysing the differences. This approach offered only quantitative information about the magnitude of the variation but overlooked the analysis of the execution and movement strategies, such as the coordination of the sporting action.

Notwithstanding the classical analysis of result variables provides relevant information about the outcome of the action, it remains incomplete as the underlying cause of the achieved result remains unknown. The use of non-linear techniques such as the entropy can fill this gap, as it takes into consideration the temporal structure and complexity of the data for the analysis [15]. This approach allows for understanding the evolution of human movement over time, emphasizing the exploratory nature of motion and facilitating the analysis of motor behaviour and its variations [16, 17]. Thus, the use of non-linear techniques has been determined as an excellent alternative to exploring the nature of human movement and its relationship with the coordinative aspects of action providing both quantitative and qualitative insights into the behaviour of the motor system [15, 18].

Within these non-linear techniques, entropy has been widely used for a qualitative analysis of different motor actions such as a serve in tennis, free throws in basketball, and a strength training task [19–23]. Entropy assesses the regularity of the signal so that a lower entropy value represents a higher regularity and predictability of the signal. Then, the probability of a similar pattern occurring is higher [24]. On the contrary, the more irregularity and unpredictability of the signal, the higher the entropy [25]. To the best of our knowledge, entropy has never been evaluated during COD tasks performed in either pre-planned or reactive situations. Thus, its use and analysis can help practitioners to better understand the underlying factors influencing the execution of these actions, and to determine whether the well-established distinctions between the two capacities traditionally assessed through result variables such as completion time, are also found from a coordinative perspective when employing non-linear measures.

Therefore, this study aimed to establish whether COD speed and agility are independent capacities using the same movement pattern (1) in terms of a result variable as the completion time, and (2) in terms of a process variable as the entropy. We hypothesized that COD speed and agility are different capacities, considering the action’s time [12, 14] and entropy [26, 27]. Specifically we expect finding longer completion times and lower entropy during agility tasks [27].

## Material and methods

### Participants

Seventeen highly-trained female football players (age: 19.6 [3.24] years; body mass: 57.5 [6.79] kg; height: 1.63 [0.06] m; 11.2 [3.67] years of football experience) belonging to the same professional football squad (i.e., Spanish 2<sup>nd</sup> Division “Reto Iberdrola”) voluntarily took part in the

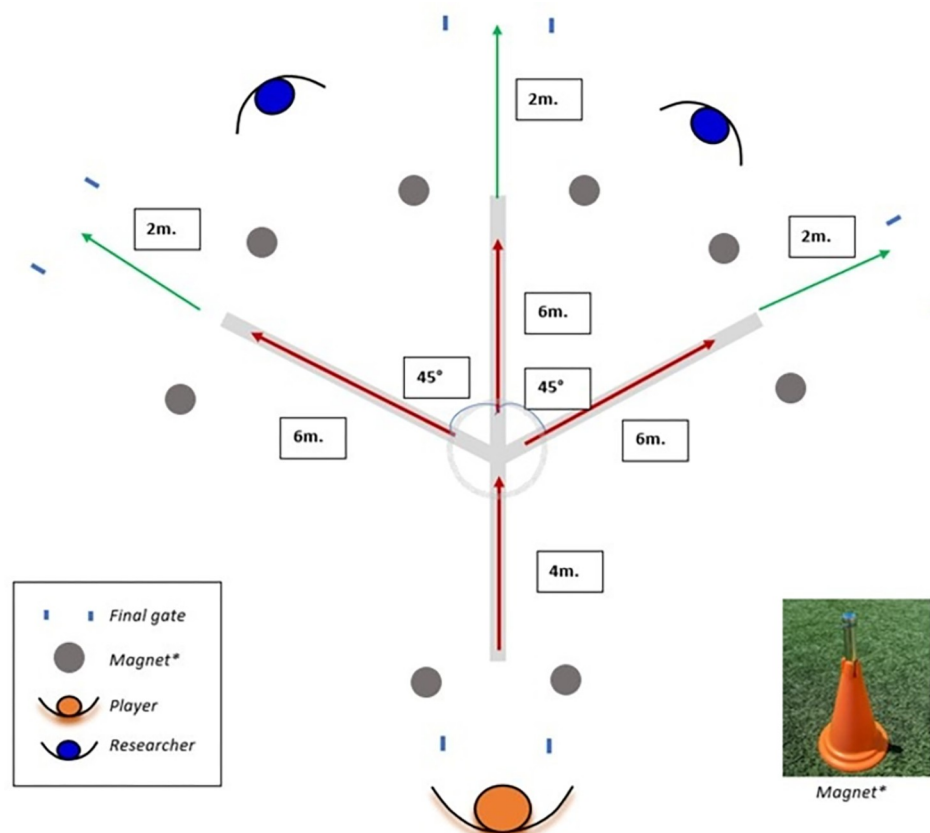
current study. This sample size ( $n = 17$ ) was selected to detect an intraclass correlation coefficient (ICC) of 0.9 at 80% power (<https://wnarifin.github.io/ssc/ssicc.html>) in the reliability analysis. It was also selected to detect a moderate difference (ES: 0.7) (15 participants were needed) for a paired sample t-test at 80% power and alpha of 0.05 according to G\*power (version 3.1.9.6). All players agreed to participate in the study by signing an informed consent form. For players under 18 years of age, informed consent was obtained from their parents or legal guardians. Data collection took part at the beginning of November 2021, during the 12<sup>th</sup> microcycle of the season. All players participated, on average, in four two-hour-long football training sessions, and one competitive match per week. A typical training session included a first part of strength training in the gym lasting about 30 minutes and 1 hr 30 minutes of technical-tactical work on the pitch. The procedures complied with the Declaration of Helsinki (2013) and were approved by the local ethics committee (005/CEICEGC/2021). All subjects gave their written informed consent before participating in the study.

## Design

A cross-sectional mixed research design was employed (within-subject comparative design). A group of highly-trained female football players were assessed during COD speed and a football agility task. All participants were familiarized with testing procedures before starting the experiments, as these tasks were commonly included during previous training sessions. The football agility task was designed based on the most typical agility test considerations [9]. It consisted of a Y-shaped course with three possible exit gates: straight, left, and right. The total distance of the test was 10 m, consisting of a first section of 4 m (entry) to the midpoint, and 6 m (exit) for the second section to the final of each exit gate. Participants completed either a 45° COD to the right or to the left, or straight ahead sprint. At the midpoint of the agility task, a visible circle of 1 m in diameter was made to mark the point where the player must perform a COD towards the final gate. Four timing gates were used (i.e., at the beginning, and after each of the three possible options) to measure completion time. Participants started the test at their discretion 1-m away from the first two magnet-timed gates and were instructed to complete the tasks as fast as possible, with a line placed 2-m ahead of the exit gates to avoid slowing down before reaching the final line (Fig 1).

The tasks were performed either with (i.e., agility) or without reacting to a stimulus (i.e., COD speed). The pre-planned situation consisted of knowing the movement direction, while the agility task involved reacting to a stimulus, making a decision, and executing a motor action. As players arrived at the middle-point, two researchers moved to two of the three final options, according to a previously scripted sequence of imposed constraints requiring the participant to run as fast as possible to the free exit gate (Fig 2). All these options resulted in six different runs (i.e., three pre-planned and three with reactions) and each player performed each run four times in a randomized order, resulting in a total of 12 pre-planned and 12 reactive trials per player.

The task was performed on the usual training pitch in the evening (6 to 8 PM). Players were instructed to follow their habitual pre-training routine. The protocol consisted of a standardized 10-minute warm-up consisting of running, dynamic joint mobility exercises and progressive runs. Afterwards, players were allowed to perform the task once for each running category to familiarize with it with a rest of 2 min before starting the assessment. During the testing, participants had a rest period of at least 60 s after each run. Once the test started, there was a rest period of 10–15 min after each 10 runs before proceeding with the next runs. The runs were randomly assigned to each player. All trials were recorded by video.

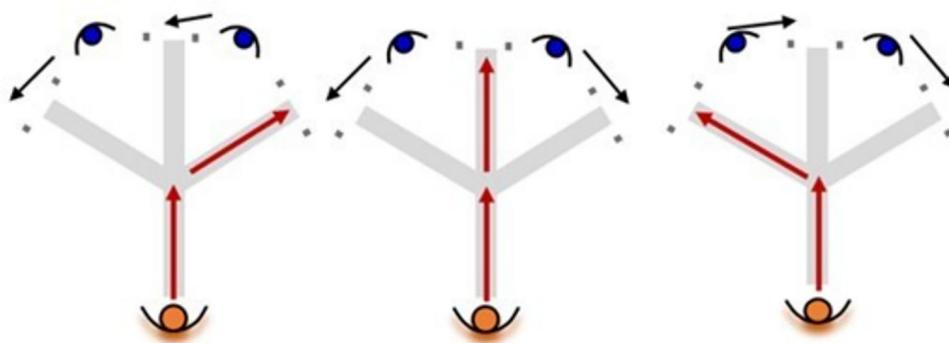


**Fig 1.** Graphical representation of distances, angles, and structural characteristics of the football agility task performed.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295405.g001>

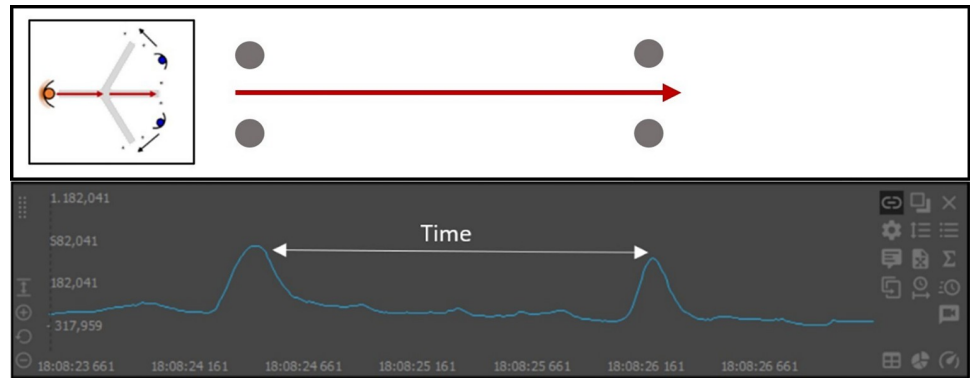
## Procedures

Players' acceleration was measured using an inertial measurement unit (WIMU, *Realtrack Systems, Almeria, Spain*), with a 3D accelerometer 100G, recording at 1000 Hz and a 3D magnetometer recording at 100 Hz. Such device was attached to players using an elastic waist belt close to the sacrum with a hard fixation to avoid extraneous acceleration during running [28].



**Fig 2.** The three reaction options based on the movement of the two testers in the agility task.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295405.g002>



**Fig 3.** Detected peak in the magnetometer of the IMU when crossing the gate with the magnets used to determine the time of each run.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295405.g003>

Two magnets ( $D33 \times 267$  mm, ND35, A.C. magnets 98, Barcelona, Spain) were placed at a height of 450mm above the ground on each gate of the task following the magnet-based timing system methodology purposed by Pérez-Chirinos et al. [29] to indicate the time of passage from the player through each gate. With this method, as the player crossed the gate with the magnets, the magnetometer of the IMU increased the signal generating a detectable peak and allowing to cut the signal through these peaks to determine the time of each run (Fig 3).

A portable high-speed camera (*Casio Exilim EX-ZR100*) recording at 240 fps was placed perpendicular to the exit gates of the test to ensure that each run corresponds to the one marked on the note paper, and thus avoiding possible errors in the interpretation of the signal.

## Data analysis

Each time a football player passed near to a bar magnet, a peak in the magnetometer time series was detected (Fig 3). SPRO software (*Realtrack Systems, Almeria, Spain*) was used to analyse the data recorded with the IMU to calculate the elapsed time between peaks. The magnetometer registered the peaks corresponding to the time of passage through the initial and final gate of the test, permitting the cutting of acceleration signal corresponding to each trial to obtain the time spent in each run [29]. The devices were calibrated prior to their placement. This was done with a self-calibration system that incorporates each device in the internal configuration of the boot. During self-calibration, three aspects were taken into account: (i) leaving the device immobile for 30 s; (ii) placing it in a flat area; and (iii) ensuring no other magnetic devices were around it [30]. This device has reported good results in both accuracy and reliability of its different sensors in previous studies [30–34]. The raw acceleration signal was extracted from each device and processed using a summation of vectors (AcelT) in three axes, mediolateral (x), anteroposterior (y) and vertical (z) calculated according to Gómez-Carmona et al. (2018).

The Sample entropy (SampEn) for each accelerometry signal, corresponding to each of the runs recorded through the IMU and extracted to an Excel file, was calculated using the equation proposed by Richmann & Moorman (2000) [35]. Then, dedicated routines programmed in Matlab® (*The MathWorks, Massachusetts, USA*) were used with a template length  $m$  of 2, and the tolerance criterion of 0.20 in the analyses.

## Statistical analysis

Data were processed using the SPSS software package (*Version 25; SPSS, Chicago, IL, USA*) and Microsoft Excel (*Version 2212, Microsoft, Redmond, WA, USA*). Basic descriptive statistics

(mean, standard deviation, minimum, maximum) were calculated for all measures. As the sample of the test was  $>50$ , the normality of the data was examined using Kolmogorov-Smirnov, finding that completion time variables did not fit a normal distribution ( $p < 0.05$ ), while the entropy variables did ( $p > 0.05$ ). Therefore, parametric tests were used to analyse the entropy variables and non-parametric tests were used for the time variables.

Within-session reliability analysis was computed using a 2-way random ICC with an absolute agreement and 90% confidence intervals and the typical error of measurement (TEM). Furthermore, the TEM was also expressed as the coefficient of variation (CV). The interpretation of intraclass correlation coefficient values aligned with the approach presented by Koo and Li [36], where values  $>0.9$  = excellent,  $>0.75$  to  $0.9$  = good,  $>0.5$  to  $0.75$  = moderate, and  $<0.5$  = poor; coefficient of variation values was considered as good ( $<5\%$ ), moderate ( $5$ – $10\%$ ) and poor ( $>10\%$ ). To assess the difference between both conditions, a paired t-test was used when normality of the data was confirmed, otherwise Wilcoxon test was used. Also, a repeated measures ANOVA for entropy data, and a Friedman test for time data were performed to analyze the differences between each type of run, including a pairwise post-hoc comparison using Tukey and Durbin-Conover, respectively. The level of significance was set at  $p < 0.05$ , with all calculations based on a 95% confidence interval (CI). Additionally, effect sizes (ES) were calculated to assess the magnitude of the difference between agility and COD, and between each type of run using Cohen's  $d$ . ESs were interpreted as follows: trivial ( $<0.20$ ), small ( $0.20$ – $0.49$ ), moderate ( $0.50$ – $0.79$ ) and large ( $>0.80$ ) [37].

The correlation analysis between COD and agility performance was also analyzed using Pearson product moment following a normal distribution, and Spearman test when followed a non-normal distribution. Results were interpreted as follows: 0 (zero), 0.01 to 0.39 (weak), 0.40 to 0.69 (moderate), 0.70 to 0.99 (strong) and 1 (perfect) [38].

## Results

Reliability results are shown in Table 1.

Significantly greater times ( $p < 0.001$ ,  $ES = 1.20, 1.63$ ) were found during agility tasks compared to COD speed tasks. Furthermore, a significantly lower entropy ( $p < 0.05$ ,  $ES = -0.64, -0.25$ ) was observed during agility tasks compared to COD speed task.

The Friedman test used to assess the differences in time between the different exit options reveals a significant effect ( $\chi^2 = 226$ ,  $gl = 5$ ,  $p < .001$ ). Subsequent Durbin-Conover post-hoc test found significant differences ( $p < 0.05$ ) between all pair of options, except for two between COD Middle vs COD Right and between AG Right vs AG Left (Table 2).

**Table 1. Descriptives and reliability measures for COD speed and agility tasks.**

|            | Trial 1         | Trial 2         | ICC (90%CI)       | TEM (90%CI)       | CV (90%CI)     |
|------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|----------------|
| COD Middle | 1.72 $\pm$ 0.05 | 1.73 $\pm$ 0.06 | 0.91 (0.80, 0.96) | 0.02 (0.01, 0.03) | 1.1 (0.8, 1.5) |
| COD Right  | 1.71 $\pm$ 0.07 | 1.72 $\pm$ 0.06 | 0.97 (0.92, 0.99) | 0.01 (0.01, 0.02) | 0.7 (0.6, 1.1) |
| COD Left   | 1.72 $\pm$ 0.05 | 1.73 $\pm$ 0.06 | 0.99 (0.97, 0.99) | 0.01 (0.01, 0.01) | 0.6 (0.5, 0.9) |
| AG Middle  | 1.79 $\pm$ 0.09 | 1.79 $\pm$ 0.10 | 0.96 (0.92, 0.98) | 0.02 (0.01, 0.03) | 1.1 (0.8, 1.5) |
| AG Right   | 1.94 $\pm$ 0.11 | 1.95 $\pm$ 0.11 | 0.90 (0.78, 0.96) | 0.04 (0.03, 0.05) | 1.9 (1.5, 2.8) |
| AG Left    | 1.94 $\pm$ 0.17 | 1.93 $\pm$ 0.15 | 0.96 (0.92, 0.98) | 0.03 (0.03, 0.05) | 1.6 (1.3, 2.3) |

CI: confidence intervals; COD: Change of direction (i.e. pre-planned); AG: agility (i.e. non-planned); ICC: Intraclass correlation coefficient; TEM: typical error of measurement; CV: coefficient of variation expressed as percentage of TEM.

The descriptive statistics of time and entropy from COD and agility runs are defined in the Fig 4.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295405.t001>



**Fig 4.** Descriptive statistics comparing A) time in seconds (s) and B) Sample Entropy in arbitrary units (au) between COD and agility runs. \* $p < 0.01$ ; \*\* $p < 0.05$ .

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295405.g004>

The repeated measures ANOVA performed for entropy variables also revealed a significant main effect ( $F = 8.26$ ,  $gl = 5$ ,  $p < 0.001$ ). Post-hoc tests using Tukey's method showed significant differences ( $p < 0.05$ ) between six pairs of running options: COD Middle vs RA Left; COD Right vs AG Right/Left; COD Left vs AG Right/Left; AG Middle vs AG Left (Table 3).

Large increases ( $ES = 1.40$  [1.20; 1.63]) in completion variables (i.e., time) and a small decrease ( $ES = -0.44$  [-0.64; -0.25]) in entropy variables were observed when comparing agility tasks against COD speed tasks.

Weak to moderate correlations were found between COD speed and agility task completion times ( $r = 0.29$ ,  $p < 0.001$ ) and moderate correlations in entropy ( $r = 0.53$ ,  $p < 0.001$ ,  $r^2 = 28.1\%$ ) (Fig 5).

## Discussion

The study aimed to test whether agility and COD speed are independent capacities using the same movement pattern (1) in terms of completion time and (2) entropy. To our best

**Table 2.** Pairwise comparison results using Durbin-Conover post-hoc test for completion time.

| Time                 | Statistic | p      | ES    | 95%CI         |
|----------------------|-----------|--------|-------|---------------|
| COD Middle–COD Right | 1.42      | 0.16   | -0.14 | [-0.48, 0.20] |
| COD Middle–COD Left  | 3.47      | < .001 | -0.30 | [-0.64, 0.03] |
| COD Middle–AG Middle | 6.71      | < .001 | 0.69  | [0.35, 1.04]  |
| COD Middle–AG Right  | 14.49     | < .001 | 1.55  | [1.17, 1.93]  |
| COD Middle–AG Left   | 14.96     | < .001 | 1.76  | [1.36, 2.15]  |
| COD Right–COD Left   | 2.05      | 0.04   | -0.20 | [-0.54, 0.14] |
| COD Right–AG Middle  | 8.13      | < .001 | 0.91  | [0.56, 1.27]  |
| COD Right–AG Right   | 15.91     | < .001 | 1.74  | [1.35, 2.14]  |
| COD Right–AG Left    | 16.38     | < .001 | 1.99  | [1.58, 2.40]  |
| COD Left–AG Middle   | 10.19     | < .001 | 1.02  | [0.67, 1.38]  |
| COD Left–AG Right    | 17.96     | < .001 | 1.81  | [1.41, 2.21]  |
| COD Left–AG Left     | 18.44     | < .001 | 2.04  | [1.63, 2.46]  |
| AG Middle–AG Right   | 7.78      | < .001 | 1.01  | [0.66, 1.37]  |
| AG Middle–AG Left    | 8.25      | < .001 | 1.19  | [0.82, 1.55]  |
| AG Right–AG Left     | 0.47      | 0.64   | 0.10  | [-0.24, 0.43] |

CI: Confidence intervals; COD: change of direction; ES: effect size; AG: agility

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295405.t002>

Table 3. Pairwise comparison results using Tukey's post-hoc test for entropy.

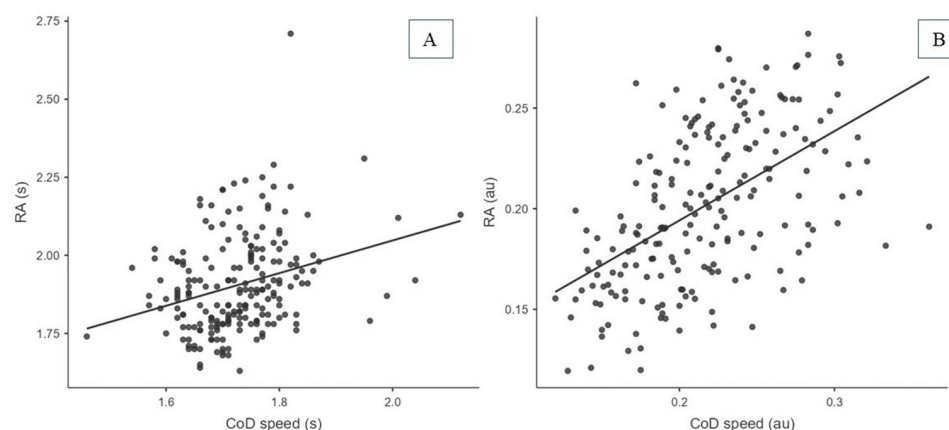
| Entropy    |           | Means difference | t     | P <sub>Tukey</sub> | ES    | 95%CI          |
|------------|-----------|------------------|-------|--------------------|-------|----------------|
| COD Middle | COD Right | 0.00             | -0.88 | 0.95               | 0.08  | [-0.25, 0.42]  |
|            | COD Left  | 0.00             | -0.61 | 0.99               | 0.04  | [-0.29, 0.38]  |
|            | AG Middle | 0.00             | 0.64  | 0.99               | -0.07 | [-0.40, 0.27]  |
|            | AG Right  | 0.01             | 2.47  | 0.15               | -0.32 | [-0.66, 0.02]  |
|            | AG Left   | 0.02             | 3.79  | 0.00               | -0.49 | [-0.84, -0.15] |
| COD Right  | COD Left  | 0.00             | 0.40  | 1.00               | -0.04 | [-0.38, 0.29]  |
|            | AG Middle | 0.01             | 1.60  | 0.61               | -0.16 | [-0.50, 0.17]  |
|            | AG Right  | 0.02             | 3.80  | 0.00               | -0.41 | [-0.75, -0.07] |
|            | AG Left   | 0.02             | 4.56  | < .001             | -0.60 | [-0.94, -0.25] |
| COD Left   | AG Middle | 0.01             | 1.21  | 0.83               | -0.12 | [-0.45, 0.22]  |
|            | AG Right  | 0.02             | 3.02  | 0.04               | -0.37 | [-0.71, -0.03] |
|            | AG Left   | 0.02             | 4.23  | < .001             | -0.56 | [-0.90, -0.21] |
| AG Middle  | AG Right  | 0.01             | 2.38  | 0.18               | -0.28 | [-0.62, 0.06]  |
|            | AG Left   | 0.02             | 4.84  | < .001             | -0.48 | [-0.82, -0.14] |
| AG Right   | AG Left   | 0.01             | 1.41  | 0.72               | -0.18 | [-0.52, 0.15]  |

CI: confidence intervals; COD: change of direction; ES: effect size; AG: agility; t: t-value.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295405.t003>

knowledge, this is the first study assessing the differences and relationships between agility and COD speed by the result variable of the action (completion time), and by a process variable, as the movement variability of the action (entropy). Confirming our hypothesis, we found significant differences between performing agility and COD speed for both completion time and entropy. The main findings were a lower movement variability and a longer completion time when performing an unanticipated COD (i.e. agility) compared to pre-planned COD. Furthermore, the weak correlations between agility and COD speed indicate that these are independent capacities and skills, and highlight that athletes with superior COD speed will not necessarily demonstrate superior agility performance and vice versa.

Regarding completion time, the current findings align with previous studies highlighting the distinction between agility and COD speed [8, 13, 39]. Reinforcing this distinction, we also found significant differences between all type of tasks when comparing COD speed and agility.



**Fig 5.** Correlation analysis between COD speed and agility (AG) values in A) Time (s) seconds, and B) Entropy variables (au) arbitrary units of Sample Entropy.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295405.g005>

Moreover, some studies have found that agility can distinguish between different level players while COD speed does not [4, 40]. Conversely, other studies have found that COD speed is a critical ability to distinguish between performance levels [41, 42]. The discrepancy in the results could be attributed to the inclusion of a light stimulus in those studies or the inclusion of a relatively simple decision with the reaction to one stimulus with only two possibilities to go, which is quite different from the sport-specific stimulus where a player must react during a match. In this regard, it has been shown that performance during agility tasks using flashing lights/arrows does not differentiate skilful performers [14, 43]. Additionally, when athletes engage in these unplanned tasks in response to a flashing light or arrow, they still know that they will perform a time-constrained decision-making task in response to a stimulus in a laboratory environment [44]. In this context agility tasks containing generic stimuli such as flashing lights and arrows, although argued to provide a more challenging scenario compared to pre-planned tasks and having demonstrated their potential for enhancing athletic performance with their training and testing [45, 46], still lack ecological validity. These tasks do not provide the representative environments and the complex stimuli (i.e., cognitive loads) associated with the dynamic sport [44] as most of the tests include only one COD with two possibilities to go (right or left), minimizing the contribution of the cognitive factors of the action. Despite our study also including only one COD, it was in response to a sport-specific stimulus (i.e., 3D human stimulus), as the movement of two testers, and there were three exit possibilities (center, right and left), having more information to process and potential decisions to make, and conforming a more complex and specific task for the player. In this sense, it has been stated that experienced players react faster to sport-specific stimuli [8, 47]. Thus, those tests, including specific stimuli of sporting situations, have more ecological validity in assessing agility [8].

We also found significant differences in entropy between COD speed and agility tasks, with non-planned runs showing less entropy than pre-planned runs. Arguably, the inclusion of a constraint, such as the reaction to a stimulus, reduces the degrees of freedom of the player's sensorimotor system. Consequently, movement possibilities are constrained by the need to control the external variability imposed by the environment requiring the athlete to employ more controlled motor, cognitive, and sensory skills (thus contributing to a longer completion time) than movements done in a pre-planned manner, in an attempt to reduce the complexity of the task and control the movement [5]. To the best of our knowledge, no other studies have investigated the influence of including the reaction to a stimulus on movement variability (i.e., entropy) during COD motor tasks. However, previous research has examined the impact of including different constraints during tasks that require increased complexity or difficulty [48–50]. These investigations have demonstrated that the introduction of constraints can decrease movement variability among athletes as the task becomes more challenging. Specifically, these studies have identified that as the task's complexity increases with the inclusion of constraints, the structure of the signal becomes less intricate, resulting in a reduction in the athlete's movement variability [48–52]. It is possible that the inclusion of decision-making similarly contributes to the reduction of movement variability because of the increase in the difficulty of the action. However, further research is needed to fully understand the potential benefits of using constraints, and specifically decision-making, in motor skill development; and to be able to have reference values of what would represent a very high or very low movement variability and its influence on performance action. Generally, too low levels of variability (sub-optimal movement variability) have been associated with a very rigid and immutable system, and too much variability or a level of variability above the optimum as a chaotic and unpredictable system, in both cases being related to less adaptable systems [53].

We have also studied the differences between each type of run (center, right, and left) based on completion time and entropy, finding significant differences in general reactive and pre-

planned conditions. In the case of time, significant differences were found between all pre-planned runs compared to agility tasks. In the case of entropy, no significant differences were found when comparing the run performed through the centre with or without decision making, but there were differences between right and left exit COD options in the comparison between both conditions. Analysing why our study and many other have found no meaningful correlation, and significant differences between agility and COD speed tests, it's essential to recognise that while pre-planned COD speed tasks are primarily influenced by anthropometric, technical, mechanical, physical and motor capacities [54], in agility tasks the perceptual and decision-making skills as reaction time, visual scanning, anticipation, pattern recognition, and the knowledge of situations are critical components, playing a determining role in performance [5, 39, 55]. Thus, an athlete despite having good COD speed and action capacity may demonstrate sub-optimal decision-making time, speed, and accuracy, which negatively impacts overall agility completion time. Furthermore, the introduction of a stimulus can alter biomechanical movement, coordination, and muscle activation strategies when changing direction, with researchers indicating that unplanned sidestepping techniques are significantly different when compared to a pre-planned COD task [8, 56, 57]. Along the same line, some studies have found that even the angle of the change of direction [58], the type of stimulus [59, 60] and the timing of stimulus [61] can impact COD biomechanics.

The current study had a few limitations to consider when interpreting the results. Firstly, although using a human as the stimulus to respond may have higher ecological validity than generic light or arrow stimuli, as it more closely mimics real-world scenarios, it presents the inconvenience that the timing of the stimulus appearance is not fixed, as it depends on the movements of the testers. Also, it could be interesting to examine the use of different standardised sport-specific stimuli, such as reacting to a pass / opponent or including constraints that could enhance complexity of the agility task like a dribbling. Secondly, the investigation was limited to only one angle from a short entry distance, and the biomechanical demands of COD are angles and velocity dependent [58], and thus agility tasks of different angle and approach distances warrant further investigation. Additionally, the study only included female football players of a particular skill level and had a restricted sample size although sufficiently powered. Future research should aim to investigate gender comparisons, explore different skill levels, and consider expanding the sample size to attain more representative results. Lastly, the decision-time of the agility task understood as the time between the stimulus presentation and the initiation of the response, was not examined, which could provide valuable insights into perceptual-cognitive abilities and thus is a recommended area for future research.

## Conclusion

In conclusion, the results of this study found significant differences, and weak to moderate correlations, between CoD speed and agility in terms of completion time and entropy, highlighting that these are two distinct, independent qualities which should be assessed and trained as such. Also, modifying task constraints is crucial to enhance athlete's movement possibilities. Specifically, incorporating cognitive factors into a COD tasks can make it more sport-specific, potentially influencing the biomechanical and coordinative aspects of the action. In this regard, it could be interesting to initiate in a structured training program by focusing on the development of COD speed and gradually increasing complexity with the inclusion of different constraints, such as the reaction to a stimulus. This progression in the level of difficulty by the inclusion of cognitive constraints would induce changes at both coordinative and cognitive levels requiring new states of adaptation to the athlete.

## Acknowledgments

The authors would like to express their thanks to the participants for their enthusiasm and cooperation during the study.

## Author Contributions

**Conceptualization:** Mónica Morral-Yepes, Oliver Gonzalo-Skok, Gerard Moras Feliu.

**Data curation:** Mónica Morral-Yepes, Oliver Gonzalo-Skok, Thomas Dos 'Santos, Gerard Moras Feliu.

**Formal analysis:** Mónica Morral-Yepes.

**Methodology:** Mónica Morral-Yepes, Oliver Gonzalo-Skok, Thomas Dos 'Santos, Gerard Moras Feliu.

**Resources:** Mónica Morral-Yepes.

**Software:** Mónica Morral-Yepes.

**Supervision:** Mónica Morral-Yepes, Gerard Moras Feliu.

**Validation:** Mónica Morral-Yepes.

**Visualization:** Mónica Morral-Yepes.

**Writing – original draft:** Mónica Morral-Yepes, Gerard Moras Feliu.

**Writing – review & editing:** Mónica Morral-Yepes, Oliver Gonzalo-Skok, Thomas Dos 'Santos, Gerard Moras Feliu.

## References

1. Taylor JB, Wright AA, Dischiavi SL, Townsend MA, Marmon AR. Activity Demands During Multi-Directional Team Sports: A Systematic Review. *Sport Med.* 2017; 47(12):2533–51. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0772-5> PMID: 28801751
2. Keiner M, Kapsecker A, Stefer T, Kadlubowski B, Wirth K. Differences in squat jump, linear sprint, and change-of-direction performance among youth soccer players according to competitive level. *Sports.* 2021; 9(11). <https://doi.org/10.3390/sports9110149> PMID: 34822349
3. Krolo A, Gilic B, Foretic N, Pojskic H, Hammami R, Spasic M, et al. Agility testing in youth football (Soccer) players; evaluating reliability, validity, and correlates of newly developed testing protocols. *Int J Environ Res Public Health.* 2020; 17(1).
4. Pojskic H, Aslin E, Krolo A, Jukic I, Uljevic O, Spasic M, et al. Importance of reactive agility and change of direction speed in differentiating performance levels in junior soccer players: Reliability and validity of newly developed soccer-specific tests. *Front Physiol.* 2018; 9(MAY):1–11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00506> PMID: 29867552
5. Rauter S, Simenko J, Zvan M, Coh M, Mackala K, Szmajda L, et al. Analysis of reactive agility and change-of-direction speed between soccer players and physical education students. *Hum Mov.* 2018; 2018(2):68–74.
6. Jones PA, Nimphius S. Change of direction and agility. In: *Performance Assessment in Strength and Conditioning.* 1st ed. London: Routledge; 2018. p. 26.
7. Young WB, Dos'Santos T, Harper D, Jeffreys I, Talpey S. Agility in Invasion Sports: Position Stand of the IUSCA. *Int J Strength Cond.* 2022; 2(1).
8. Young W, Rayner R, Talpey S. It's Time to Change Direction on Agility Research: a Call to Action. *Sport Med—Open.* 2021; 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-021-00304-y> PMID: 33580424
9. Morral M, Moras G, Bishop C, Gonzalo-skok O. Assessing the Reliability and Validity of Agility Testing in Team Sports: A Systematic Review. *J Strength Cond Res.* 2020;
10. Paul DJ, Gabbett TJ, Nassis GP. Agility in Team Sports: Testing, Training and Factors Affecting Performance. *Sport Med.* 2015; 46(3):421–42.

11. Sheppard J, Young W. Agility literature review: Classifications, training and testing. *J Sports Sci*. 2006; 24(9):919–32. <https://doi.org/10.1080/02640410500457109> PMID: 16882626
12. Ciocca G, Tessitore A, Tschan H. Agility and change-of-direction speed are two different abilities also during the execution of repeated trials and in fatigued conditions. *PLoS One* [Internet]. 2022; 17(6 June):1–13. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0269810>
13. Čoh M, Vodičar J, Žvan M, Šimenko J, Stodolka J, Rauter S, et al. Are Change-of-Direction Speed and Reactive Agility Independent Skills Even When Using the Same Movement Pattern? *J Strength Cond Res*. 2018; 32(7):1929–36. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002553> PMID: 29570572
14. Young WB, Dawson B, Henry G. Agility and Change of Direction Speed are Independent Skills: Implications for Agility Invasion Sports. *Int J Sport Sci Coach*. 2015; 10(1):159–69.
15. Orellana JN, De La Cruz Torres B. La entropía y la irreversibilidad temporal multiescala en el análisis de sistemas complejos en fisiología humana. *Rev Andaluza Med del Deporte*. 2010; 3(1):29–32.
16. Stergiou N. Nonlinear analysis for human movement variability. 1st ed. Stergiou N, editor. Boca Raton (Florida): CRC Press (Taylor & Francis Group); 2016.
17. Stergiou N, Decker LM. Human movement variability, nonlinear dynamics, and pathology: Is there a connection? *Hum Mov Sci*. 2011; 30(5):869–88. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.06.002> PMID: 21802756
18. Preatoni E, Hamill J, Harrison AJ, Hayes K, van Emmerik REA, Wilson C, et al. Movement variability and skills monitoring in sports. *Sport Biomech*. 2013; 12(2):69–92. <https://doi.org/10.1080/14763141.2012.738700> PMID: 23898682
19. Couceiro M, Clemente F, Dias G, Mendes P, Martins F, Mendes R. On an Entropy-based Performance Analysis in Sports. In: *On an Entropy-based Performance Analysis in Sports*. 2014. p. 20.
20. De Oliveira EA, Andrade AO, Vieira MF. Linear and nonlinear measures of gait variability after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Electromyogr Kinesiol* [Internet]. 2019; 46:21–7. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2019.03.007> PMID: 30878649
21. Diekfuss JA, Rhea CK, Schmitz RJ, Grooms DR, Wilkins RW, Slutsky AB, et al. The Influence of Attentional Focus on Balance Control over Seven Days of Training. *J Mot Behav*. 2019; 51(3):281–92. <https://doi.org/10.1080/00222895.2018.1468312> PMID: 29792580
22. Moras G, Fernández-Valdés B, Vázquez-Guerrero J, Tous-Fajardo J, Exel J, Sampaio J. Entropy measures detect increased movement variability in resistance training when elite rugby players use the ball. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2018; 21(12):1286–92. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.05.007> PMID: 29804653
23. Fernández-Valdés B, Jones B, Hendricks S, Weaving D, Ramirez-Lopez C, Whitehead S, et al. A novel application of entropy analysis for assessing changes in movement variability during cumulative tackles in young elite rugby league players. *Biol Sport*. 2022; 40(1):161–70. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2023.112965> PMID: 36636175
24. Shannon CE. A mathematical theory of communication. *Bell Syst Tech J*. 1948; 27(3):379–423.
25. McGregor SJ, Bollt E. Control entropy: What is it and what does it tell us? *Clin Kinesiol*. 2012; 66(1):7–12.
26. Tuyà Viñas S, Fernández-Valdés B, Pérez-Chirinos C, González J, Moras Feliu G. Decision making influences movement variability and performance of high-level female football players in an elastic resistance task. *Front Psychol*. 2023; 14(1175248).
27. Morral Yepes M, Gonzalo-Skok O, Fernández Valdés B, Bishop C, Tuyà S, Moras Feliu G. Assessment of movement variability and time in a football reactive agility task depending on constraints. *Sport Biomech* [Internet]. 2023; 00(00):1–17. Available from: <https://doi.org/10.1080/14763141.2023.2214533>
28. Edwards S, White S, Humphreys S, Robergs R, O'Dwyer N. Caution using data from triaxial accelerometers housed in player tracking units during running. *J Sports Sci* [Internet]. 2018; 37(7):810–8. Available from: <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1527675> PMID: 30306824
29. Pérez-Chirinos C, Fernández-Valdés B, Morral-Yepes M, Tuyà S, Padullés JM, Moras G. Validity of a Magnet - Based Timing System Using the Magnetometer Built into an IMU. *Sensors*. 2021; 21(5773).
30. Bastida Castillo A, Gómez Carmona CD, Pino Ortega J, de La Cruz Sánchez E. Validity of an inertial system to measure sprint time and sport task time: A proposal for the integration of photocells in an inertial system. *Int J Perform Anal Sport*. 2017; 17(4):600–8.
31. Pino-Ortega J, Bastida-Castillo A, Hernández-Belmonte A, Gómez-Carmona CD. Validity of an inertial device for measuring linear and angular velocity in a leg extension exercise. *Proc Inst Mech Eng Part P J Sport Eng Technol*. 2019 Oct; 234(1):30–6.
32. Gómez-Carmona CD, Bastida-Castillo A, García-Rubio J, Ibáñez SJ, Pino-Ortega J. Static and dynamic reliability of WIMU PRO™ accelerometers according to anatomical placement. *Proc Inst Mech Eng Part P J Sport Eng Technol*. 2018 Dec; 233(2):238–48.

33. Gómez-Carmona CD, Bastida-Castillo A, González-Custodio A, Olcina G, Pino-Ortega J. Using an Inertial Device (WIMU PRO) to Quantify Neuromuscular Load in Running: Reliability, Convergent Validity, and Influence of Type of Surface and Device Location. *J strength Cond Res*. 2020; 34(2):365–73. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003106> PMID: 31985715
34. Pino Ortega J. Validity and reliability of an inertial device (WIMU PROTM) to quantify physical activity level through steps measurement. 2018;
35. Richman JS, Moorman JR. Physiological time-series analysis using approximate and sample entropy. *Am J Physiol—Heart Circ Physiol*. 2000; 278(6 47–6):2039–49.
36. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med [Internet]*. 2016; 15(2):155–63. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012> PMID: 27330520
37. Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. 2nd Editio. Cohen J, editor. New York: Lawrence Erlbaum Associates; 1988. 567 p.
38. Akoglu H. User's guide to correlation coefficients. *Turkish J Emerg Med*. 2018; 18(3):91–3. <https://doi.org/10.1016/j.tjem.2018.08.001> PMID: 30191186
39. Mijatovic D, Krivokapic D, Versic S, Dimitric G, Zenic N. Change of Direction Speed and Reactive Agility in Prediction of Injury in Football; Prospective Analysis over One Half-Season. *Healthcare*. 2022; 10(3). <https://doi.org/10.3390/healthcare10030440> PMID: 35326918
40. Morland B, Bottoms L, Sinclair J, Bourne N. Can change of direction speed and reactive agility differentiate female hockey players? *Int J Perform Anal Sport*. 2013; 13(2):510–21.
41. Popowczak M, Cichy I, Rokita A, Domaradzki J. The Relationship Between Reactive Agility and Change of Direction Speed in Professional Female Basketball and Handball Players. *Front Psychol*. 2021; 12 (September):1–9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.708771> PMID: 34659023
42. Sekulic D, Pehar M, Krolo A, Spasic M, Uljevic O, Calleja-González J, et al. Evaluation of Basketball-Specific Agility: Applicability of Preplanned and Nonplanned Agility Performances for Differentiating Playing Positions and Playing Levels. *J Strength Cond Res*. 2017; 31(8):2278–88. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001646> PMID: 27662488
43. Young WB, Farrow D, Pyne D, McGregor W, Handke T. Validity and Reliability of Agility Tests in Junior Australian Football Players. 2011; 25(12):3399–403.
44. Giesche F, Stief F, Groneberg DA, Wilke J. Effect of unplanned athletic movement on knee mechanics: A systematic review with multilevel meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2021; 55(23):1366–78. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-103933> PMID: 34344709
45. Trecroci A, Cavaggioni L, Rossi A, Moriondo A, Merati G, Nobari H, et al. Effects of speed, agility and quickness training programme on cognitive and physical performance in preadolescent soccer players. *PLoS One [Internet]*. 2022; 17(12 December). Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0277683>
46. Scharfen HE, Memmert D. Measurement of cognitive functions in experts and elite athletes: A meta-analytic review. *Appl Cogn Psychol*. 2019; 33(5):843–60.
47. Scanlan AT, Wen N, Kidcaff AP, Berkelmans DM, Tucker PS, Dalbo VJ. Generic and sport-specific reactive agility tests assess different qualities in court-based team sport athletes. *J Sports Med Phys Fitness*. 2014; 56(3):206–13. PMID: 25389640
48. Urbán T, Caballero C, Barbado D, Moreno FJ. Do intentionality constraints shape the relationship between motor variability and performance? *PLoS One*. 2019; 14(4):1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214237> PMID: 30995243
49. Robalo RAM, Diniz AMFA, Fernandes O, Passos PJM. The role of variability in the control of the basketball dribble under different perceptual setups. *Eur J Sport Sci [Internet]*. 2020; 21(4):521–30. Available from: <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1759695> PMID: 32321368
50. Caballero C, Davids K, Heller B, Wheat J, Moreno FJ. Movement variability emerges in gait as adaptation to task constraints in dynamic environments. *Gait Posture [Internet]*. 2019; 70:1–5. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.02.002> PMID: 30771594
51. Vaillancourt DE, Newell KM. Changing complexity in human behavior and physiology through aging and disease. *Neurobiol Aging*. 2002; 23(1):1–11. [https://doi.org/10.1016/s0197-4580\(01\)00247-0](https://doi.org/10.1016/s0197-4580(01)00247-0) PMID: 11755010
52. Vaillancourt DE, Newell KM. Aging and the time and frequency structure of force output variability. *J Appl Physiol*. 2003; 94(3):903–12. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00166.2002> PMID: 12571125
53. Stergiou N, Harbourne RT, Cavanaugh JT. Optimal movement variability: A new theoretical perspective for neurologic physical therapy. *J Neurol Phys Ther*. 2006; 30(3):120–9. <https://doi.org/10.1097/01.npt.0000281949.48193.d9> PMID: 17029655

54. Dos'Santos T, Mc Burney A, Thomas C, Jones PA, Harper D. Attacking agility actions: Match play contextual applications with coaching and technique guidelines. *Strength Cond J*. 2022; 44(5):102–18.
55. Matlák J, Tihanyi J, Rácz L. Relationship between Reactive Agility and Change of Direction Speed in Amateur Soccer Players. *J Strength Cond Res*. 2016; 30(6):1547–52. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001262> PMID: 26562713
56. Brown SR, Brughelli M, Hume PA. Knee Mechanics During Planned and Unplanned Sidestepping: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sport Med*. 2014; 44(11):1573–88. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0225-3> PMID: 25015478
57. Hughes G, Dai B. The influence of decision making and divided attention on lower limb biomechanics associated with anterior cruciate ligament injury: a narrative review. *Sport Biomech [Internet]*. 2021; Available from: <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1898671> PMID: 33821758
58. Dos'Santos T, Thomas C, Jones PA. The effect of angle on change of direction biomechanics: Comparison and inter-task relationships. *J Sports Sci [Internet]*. 2021; 39(22):2618–31. Available from: <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1948258> PMID: 34278968
59. Lee MJC, Lloyd DG, Lay BS, Bourke PD, Alderson JA. Different visual stimuli affect body reorientation strategies during sidestepping. *Scand J Med Sci Sport*. 2017; 27(5):492–500. <https://doi.org/10.1111/sms.12668> PMID: 26926713
60. Lee MJC, Lloyd DG, Lay BS, Bourke PD, Alderson JA. Effects of different visual stimuli on postures and knee moments during sidestepping. *Med Sci Sports Exerc*. 2013; 45(9):1740–8. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318290c28a> PMID: 23481170
61. Mornieux G, Gehring D, Fürst P, Gollhofer A. Anticipatory postural adjustments during cutting manoeuvres in football and their consequences for knee injury risk. *J Sports Sci*. 2014; 32(13):1255–62. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.876508> PMID: 24742137

## **5. Resultados**

---



Figura 17. Esquema de resultados de los estudios

| Estudio 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Ensayo previo                                                                                                                                                                                                                                                                             | Estudio 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Estudio 3                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fiabilidad                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Entropía (u. a.)                                                                                                                                                                                                                                                                          | Entropía (u. a.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ICC de cada tipo de salida                                                                                                                                                                                                                             |
| <p>ICC TT según tipo de estímulo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Luz:</b> 0,79-0,91</li> <li>- <b>Humano:</b> 0,79-0,99 (<i>excepto Holding et al., 2014, en 1 vs. 1 con ICC = 0,64</i>)</li> <li>- <b>Vídeo:</b> 0,81-0,83 (<i>excepto Young et al., 2011, con ICC = 0,11-0,33</i>)</li> </ul> <p>ICC TD: 0,95</p> | <p><b>Sin condicionantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- VCdD = 0,26 (0,19-0,31)</li> </ul> <p><b>Con condicionantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- B = 0,18 (0,16-0,22)</li> <li>- R = 0,20 (0,16-0,27)</li> <li>- RB = 0,18 (0,16-0,20)</li> </ul> | <p>VCdD = <math>0,22 \pm 0,04</math></p> <p><b>Con condicionantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- B = <math>0,17 \pm 0,02^*</math></li> <li>- R = <math>0,18 \pm 0,03^*</math></li> <li>- RB = <math>0,16 \pm 0,03^*</math></li> </ul> <p><b>* <math>p &lt; 0,05</math></b></p> <p>Diferencias significativas entre la categoría de base VCdD y el resto.</p> | <p>ICC (90 % CI) = 0,91-0,99</p>                                                                                                                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Entropía (u. a.)                                                                                                                                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p>VCdD = <math>0,22 \pm 0,05</math></p> <p>AR = <math>0,16 \pm 0,03</math></p> <p>ES = <b>-1,46</b></p> <p><b><math>P &lt; 0,001</math></b></p> <p><b>Correlación VCdD y AR:</b></p> <p><b><math>r = 0,53, p &lt; 0,001, r^2 = 28,1 \%</math></b></p> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Tiempo total (s)                                                                                                                                                                                                                                                                          | Tiempo total (s)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Validez                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Tiempo total (s)                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p>ANR 6,4 % más rápidos (2,1-25,3 %)</p> <p>ANR 23,2 % más rápidos en TD (10,2-48 %)</p> <p>ANR 9,3 % mejor puntuación en PD (2,5-21 %)</p> <p>ES &gt; 0,6</p>                                                                                                                                                                      | <p><b>Sin condicionantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- VCdD = 1,65 (1,54-1,73)</li> </ul> <p><b>Con condicionantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- B = 2,10 (1,81-2,43)</li> <li>- R = 1,83 (1,77-2,43)</li> <li>- RB = 2,21 (2,12-2,43)</li> </ul> | <p>VCdD = <math>1,73 \pm 0,07</math></p> <p><b>Con condicionantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- B = <math>2,16 \pm 0,19^*</math></li> <li>- R = <math>2,05 \pm 0,22^*</math></li> <li>- RB = <math>2,22 \pm 0,18^*</math></li> </ul> <p><b>* <math>p &lt; 0,05</math></b></p> <p>Diferencias significativas entre la categoría de base VCdD y el resto.</p> | <p>VCdD = <math>1,73 \pm 0,09</math></p> <p>AR = <math>1,91 \pm 0,15</math></p> <p>ES = <b>1,46</b></p> <p><b><math>P &lt; 0,001</math></b></p> <p><b>Correlación VCdD y AR:</b></p> <p><b><math>r = 0,29, p &lt; 0,001</math></b></p>                 |

NOTA: AR, agilidad reactiva; ANR, alto nivel de rendimiento; B, balón; ICC, coeficiente de correlación intraclase; PD, precisión decisión; R, reacción; TD, tiempo decisión; TM, tiempo movimiento; TT, tiempo total; u. a., unidades arbitrarias; VCdD, velocidad cambios de dirección. FUENTE. Elaboración propia.



## **6. Discusión común y aplicaciones prácticas**



La discusión de cada uno de los artículos de la tesis se encuentra reflejada en el apartado de estudios de la misma. Sin embargo, en este capítulo se procede a resumir los principales hallazgos encontrados en los diferentes artículos de la tesis y a discutirlos de una forma ampliada y con una orientación más práctica.

### **6.1. *Test de valoración de la agilidad reactiva***

En cuanto a los test realizados hasta el momento para valorar la AR, en general, la mayoría han demostrado una alta fiabilidad independientemente del tipo de estímulo empleado (Morral et al., 2020; Paul et al., 2015). Sin embargo, la valoración de la agilidad se ha realizado por lo general en contextos muy simples y en muchos casos en respuesta a estímulos inespecíficos (W. Young et al., 2021). Además, se ha realizado habitualmente desde la perspectiva del resultado de la acción, analizando únicamente el tiempo total necesario para realizar el test, de forma que parece necesaria la inclusión de nuevos medios y formas de valoración para ampliar el conocimiento existente.

Respecto al tipo de estímulo utilizado, cada uno presenta diferentes características y su uso tiene ventajas e inconvenientes que se deben tener en cuenta para decidirse por un tipo de estímulo u otro en el momento de valorar la agilidad (tabla 3). Por lo general, está ampliamente aceptado que, en el ámbito de los deportes colectivos, debido a la mayor validez ecológica del estímulo y al mantenimiento de altos niveles de fiabilidad, el uso del estímulo humano resulta ser la mejor opción (W. Young et al., 2021).

Tabla 3. Ventajas e inconvenientes del uso de diferentes tipos de estímulo

| LUZ                                                 | VÍDEO                                                         | HUMANO                                               |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Fiabilidad                                          | Fiabilidad                                                    | Fiabilidad                                           |
| Consistencia en el tiempo de aparición del estímulo | Posibilidad de simulación de situaciones de juego específicas | Especificidad del estímulo                           |
| Alto coste                                          | Consistencia en el tiempo de aparición del estímulo           | Accesibilidad                                        |
| Inespecificidad del estímulo                        | Menor accesibilidad a la tecnología necesaria                 | Posibilidad de simulación de situaciones reales      |
| Entornos simples                                    | Imagen en 2D                                                  | Variabilidad en el momento de aparición del estímulo |

FUENTE. Elaboración propia.

En cuanto a la validez de los test de AR, también han demostrado ser capaces de diferenciar entre niveles de rendimiento y categorías de edad, pues los jugadores de nivel superior o mayor experiencia tuvieron un resultado entre un 2,1 y un 18,2 % mejor que el de los jugadores de nivel inferior o menor experiencia, siendo mayor esta diferencia con el uso de estímulos específicos. Además, si nos fijamos específicamente en el tiempo de reacción, los jugadores con más nivel de rendimiento y experiencia responden entre un 10,2 y un 48,0 % más rápido que los de menor nivel y experiencia (Morrall et al., 2020). Esto es debido principalmente a la mayor capacidad de los

primeros de interpretar pistas posturales y anticipar el movimiento, cosa que les permite reaccionar más rápidamente al estímulo dando la respuesta adecuada.

## **6.2. *Valoración de la agilidad reactiva en base al tiempo***

En relación a la evaluación del rendimiento en los test de AR, la mayoría de los estudios se han centrado en la medición exclusiva del tiempo total requerido para su ejecución. Sin embargo, algunos investigadores han ampliado su análisis incluyendo la medición de variables adicionales que abordan aspectos como el tiempo de decisión, la precisión de la decisión y el tiempo de movimiento (T. J. Gabbett et al., 2011; Green et al., 2011; A. T. Scanlan et al., 2015). Estas variables proporcionan una comprensión más completa de cómo pueden influir los factores cognitivos y condicionales en el resultado final del test (Nimphius et al., 2018).

Además, algunos autores han realizado comparaciones entre distintas variables resultantes o formas de ejecución del test con el objetivo de categorizar a los jugadores en función de su desempeño en las diferentes variables descritas (Fiorilli, Iuliano, et al., 2017; T. J. Gabbett et al., 2008). Con esta idea, Gabbett et al. (2008) propusieron una clasificación que segmenta a los jugadores en cuatro grupos en función de los resultados conseguidos en las variables de tiempo de reacción y tiempo de movimiento, combinando las categorías de rapidez o lentitud en la toma de decisiones y en la ejecución del

movimiento, lo que resultó en las denominaciones *fast/slow* y *thinkers/movers*. Este enfoque permite una evaluación más detallada de las capacidades individuales de los jugadores, así como abordar el entrenamiento desde una perspectiva más individualizada de las necesidades detectadas para cada uno. Por su parte, Fiorilli et al. (2017) desarrollaron el REAC-INDEX, basado en la diferencia de tiempo entre realizar el test con o sin reacción a un estímulo, de forma que el resultado del índice puede determinar si la posible limitación en el resultado final del test viene dada por un déficit en el tiempo de reacción o por un déficit en el tiempo de movimiento.

Siguiendo esta idea y en base al test desarrollado en esta tesis, donde se aplicó el mismo test de agilidad con diferentes condicionantes como la reacción a un estímulo y la conducción de balón, se propone utilizar el test de VCdD sin condicionantes externos como punto de partida de referencia para llevar a cabo diferentes comparaciones que puedan ayudar a determinar diferentes niveles de rendimiento en las estructuras condicional, coordinativa y cognitiva del deportista. El objetivo de estas comparaciones es ayudar a determinar posibles déficits en ciertas capacidades específicas de forma que se puedan orientar mejor los objetivos de entrenamiento. Así, mediante los resultados encontrados en el tiempo total del test sin condicionantes y su comparativa con el tiempo necesario para completar el test en reacción a un estímulo y en conducción de balón, se determinarán los siguientes índices:

1. VCdD, referido al tiempo total necesario para realizar el test de cambio de dirección sin condicionantes externos ( $T(s)$  VCdD).
2. Índice reactivo, referido a la diferencia entre el tiempo total al realizar el test en reacción a un estímulo ( $T(s)$  AR) y cuando se realiza de forma preplaneada ( $T(s)$  VCdD) (Fiorilli, Iuliano, et al., 2017).

$$\text{Índice reactivo} = T(s) \text{ VCdD} - T(s) \text{ AR}$$

En base a estos datos también se puede determinar el % de pérdida de velocidad con la inclusión de la reacción a un estímulo mediante la siguiente fórmula:

$$\left( \frac{T(s) \text{ AR} - T(s) \text{ VCdD}}{T(s) \text{ AR}} \right) \times 100$$

3. *Dribbling deficit*, referido a la diferencia entre el tiempo total al realizar el test en conducción de balón ( $T(s)$  B) o sin condicionantes externos ( $T(s)$  VCdD) (Makhlouf et al., 2022; A. T. Scanlan et al., 2018).

$$\text{Dribbling deficit} = T(s) \text{ B} - T(s) \text{ VCdD}$$

En base a estos datos también se puede determinar un % de pérdida de velocidad con la inclusión de la conducción de balón mediante la siguiente fórmula:

$$\left( \frac{T(s)B - T(s)VCdD}{T(s)B} \right) \times 100$$

En función de los resultados de estas comparaciones se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. Un tiempo total menor en VCdD determinará un mayor rendimiento a nivel condicional.
2. Un menor índice reactivo determinará un menor porcentaje de pérdida de velocidad con la inclusión de la reacción a un estímulo y, por lo tanto, un mejor rendimiento a nivel cognitivo.
3. Un menor valor en el índice del *dribbling deficit* determinará un menor porcentaje de pérdida de velocidad al incluir la conducción de balón y, por lo tanto, un mejor rendimiento a nivel coordinativo específico.

En base a estos resultados se puede extraer información que sirva de punto de partida para determinar los objetivos de entrenamiento en función de las fortalezas y debilidades encontradas.

En la tabla 4 se incluyen los resultados que se pueden encontrar al implementar el test con los diferentes condicionantes, los índices que se pueden extraer y una interpretación de esos resultados, así como una prescripción de entrenamiento en base a los mismos.

Tabla 4. Relación entre los resultados en los test y el tipo de entrenamiento a priorizar

| VCd<br>D                                                                                                                                                                                                                                                    | IR | DD | Interpretación                                                                                     | Entrenamiento                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          |    |    | Rapidez de movimiento, de reacción y en coordinación específica.                                   | Continuar desarrollando rapidez de movimiento para aumentar margen de mejora en reacción y coordinación.            |
|          |    |    | Rapidez de movimiento y reacción. Gran pérdida de velocidad en coordinación específica.            | Énfasis en mejora coordinativa con trabajo técnico específico.                                                      |
|       |    |    | Rapidez de movimiento y coordinativa. Gran pérdida de velocidad en reacción.                       | Énfasis en mejora de factores cognitivos como anticipación, reacción y reconocimiento de patrones.                  |
|    |    |    | Rapidez de movimiento. Gran pérdida de velocidad en coordinación específica y en reacción.         | Énfasis en trabajo técnico específico y factores cognitivos de anticipación, reacción y reconocimiento de patrones. |
|    |    |    | Baja velocidad de movimiento. Poca pérdida de velocidad con coordinación específica y en reacción. | Énfasis en trabajo condicional para la mejora de la VCdD.                                                           |

|                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                      |                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Baja velocidad de movimiento y gran pérdida de velocidad en coordinación específica. | Énfasis en trabajo condicional para la mejora de la VCdD y en trabajo técnico específico. |
|    | Baja velocidad de movimiento y gran pérdida de velocidad en reacción.                | Énfasis en la mejora de la VCdD y en factores cognitivos de reacción.                     |
|    | Baja velocidad y gran pérdida de velocidad en reacción y en coordinación específica. | Trabajo global de VCdD y con condicionantes coordinativos y cognitivos                    |

NOTA: VCdD, velocidad en cambios de dirección; IR, índice reactivo; DD, *dribbling deficit*.  
FUENTE. Elaboración propia.

De esta forma se consigue una valoración más completa del test que permite inferir mayores o menores rendimientos en alguna categoría y ayuda a determinar objetivos de entrenamiento adecuados e individualizados en base a los mismos.

### **6.3. Valoración de la agilidad reactiva mediante la entropía**

En el caso de la medición de la variabilidad de movimiento en tareas motrices, existe controversia a la hora de interpretar los resultados obtenidos debido al uso de diferentes métodos de medición, como el uso de métodos lineales y no lineales; con diferentes objetivos de medición, como entre repeticiones o intrarrepetición; con diferentes

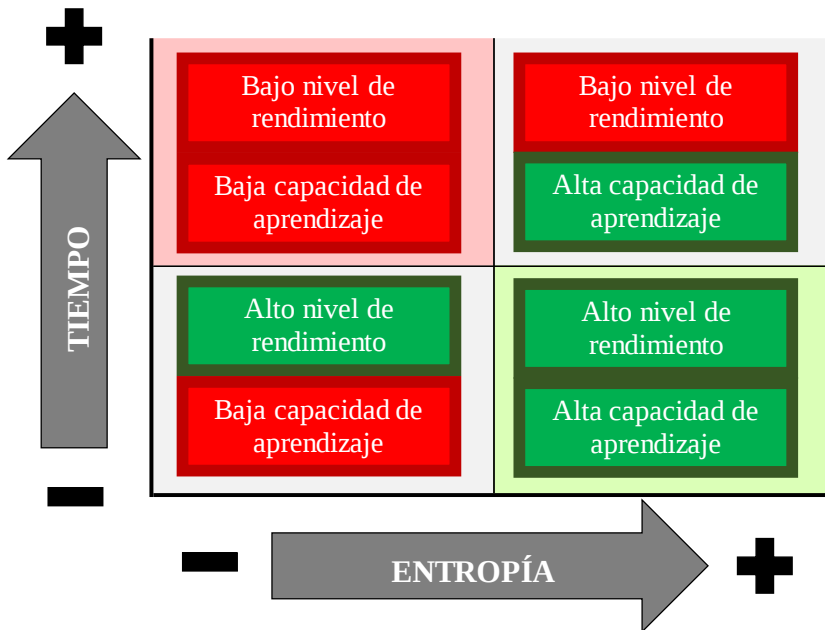
criterios de medición de la variabilidad de movimiento, como la medición de la variabilidad estratégica, de ejecución o de resultado; y utilizados en tareas motrices de diferente tipo, como discretas abiertas, discretas cerradas o continuas (Cowin et al., 2022). Todos estos factores deben ser tenidos en cuenta en el momento de interpretar o discutir los resultados encontrados en un estudio para poder generar comparaciones coherentes y sacar conclusiones relevantes al respecto. Por lo general, está ampliamente aceptado que el nivel de variabilidad de movimiento es individual, asociándose valores demasiado bajos a patrones demasiado rígidos y con poca capacidad de cambio, y una excesiva variabilidad a un nivel bajo de control motor en la tarea (Stergiou et al., 2006). Normalmente una menor variabilidad de movimiento en tareas de precisión se ha asociado a un mejor rendimiento y precisión en la tarea (Hamilton & Reinschmidt, 2010; Mendes et al., 2013; Vagner et al., 2022). Sin embargo, en tareas multiarticulares en entornos cambiantes se ha detectado una mayor variabilidad de movimiento debido a que los movimientos requieren un mayor reclutamiento de unidades motoras y a la mayor necesidad de adaptación a las condiciones cambiantes del entorno (Stergiou et al., 2006). También se ha encontrado que con el entrenamiento, aprendizaje y desarrollo de una habilidad el nivel de entropía tiende a reducirse, asociándose esa reducción a un mayor control motor (Fernández-Valdés et al., 2022; Guimarães et al., 2020).

Teniendo en cuenta estos elementos, la medición de forma combinada de la variabilidad de movimiento junto con el tiempo total durante una tarea de agilidad como la realizada en esta tesis puede

ayudar a intuir el nivel de maestría en dicha tarea y la capacidad de aprendizaje asociada a la misma (Dhawale et al., 2017; Seifert et al., 2013; Sternad, 2018). De esta manera, niveles reducidos de variabilidad de movimiento acompañados de una alta velocidad de ejecución de la tarea indican un alto grado de dominio y la consecución de un estadio avanzado en el proceso de aprendizaje (Guimarães et al., 2020). En este contexto, sería aconsejable considerar la introducción de modificaciones en la tarea para conseguir una alteración en el patrón de movimiento y la búsqueda de nuevas estructuras organizativas que permitan generar nuevas adaptaciones no solo a nivel condicional, sino también a nivel coordinativo.

En la figura 18 se muestran las posibles combinaciones en cuanto a valores de tiempo total y entropía y su interpretación, asociándose niveles bajos de entropía a mayor rigidez en el patrón y poca capacidad de aprendizaje; niveles altos de entropía a mayor adaptabilidad y estadios de aprendizaje más tempranos; tiempos altos a una menor velocidad y peores niveles de rendimiento; y tiempos bajos a una mayor velocidad y mejor nivel de rendimiento.

Figura 18. Nivel de rendimiento y dominio en la tarea en función de los resultados de tiempo y entropía conseguidos



FUENTE. Elaboración propia.

De esta forma se obtiene una interpretación conjunta del resultado de la tarea que aporta información sobre el rendimiento condicional de la acción mediante la interpretación del resultado del tiempo total, y de aspectos coordinativos mediante la interpretación del valor de la entropía. En este sentido, hay que tener en cuenta que el valor de entropía es individual y, por tanto, no se puede determinar un valor de entropía óptimo para el desarrollo de una tarea en concreto, sino que se debe conocer la evolución temporal de la variable a lo largo del tiempo en el mismo individuo para poder extraer conclusiones válidas.

Así pues, al interpretar los resultados resulta conveniente tener en cuenta no solo las variables de tiempo y variabilidad de movimiento en un momento aislado, sino también la evolución temporal de ambas. Esto será crucial para poder determinar con precisión el progreso en las diferentes variables evaluadas, así como para detectar un posible estancamiento en la mejora de la habilidad a nivel coordinativo o condicional, y la necesidad de buscar nuevas tareas o condicionantes que permitan seguir consiguiendo adaptaciones.

#### ***6.4. Influencia de la inclusión de condicionantes sobre el tiempo total y la entropía***

La incorporación de condicionantes en las tareas ha demostrado tener efectos en la realización de dicha tarea tanto a nivel coordinativo como de rendimiento en la acción (Caballero et al., 2019; Diekfuss et al., 2019; Haudum et al., 2014; Mendes et al., 2013). Sin embargo, el efecto de esas modificaciones depende del tipo de condicionante externo incluido y del tipo de tarea realizada.

Contrariamente a lo encontrado en los estudios de esta tesis, en estudios anteriores se ha observado que la inclusión de un condicionante externo —como la recepción y retorno de un pase o la intención de defenderlo durante un ejercicio de fuerza— aumenta la variabilidad de movimiento en la acción (Moras et al., 2018; Tuyà Viñas et al., 2023). Este aumento probablemente sea debido a la introducción del condicionante externo de forma puntual durante la

acción, de manera que condiciona los ajustes corporales en un momento concreto de la acción y no durante todo el movimiento. En el caso de la inclusión de los condicionantes de conducción de balón y reacción a un estímulo externo durante la ejecución de la tarea de agilidad, se encontró una disminución de la variabilidad de movimiento (Morral Yepes et al., 2023). En este caso el condicionante afectó al movimiento durante toda la acción, provocando una disminución en el número de configuraciones disponibles en el sistema motor y resultando en una mayor regularidad de movimiento. Esto se tradujo en una disminución de la variabilidad expresada a través de la entropía, y del rendimiento mediante el aumento del tiempo necesario para completar la tarea (M. S. Couceiro et al., 2014).

En este escenario, los condicionantes aplicados a la tarea reducen los grados de libertad del individuo, lo cual conlleva una reducción de sus posibilidades de movimiento y el aumento de su rigidez y regularidad. En este sentido es interesante encontrar el equilibrio entre control en la realización de la tarea y capacidad de adaptación a la variabilidad que demande el entorno.

De esta forma, el uso de condicionantes y variaciones en las tareas de agilidad puede ayudar a conseguir un patrón de movimiento más rico y adaptable a diferentes situaciones mientras se consiguen unos niveles de rendimiento relativamente estables, y la valoración del tiempo total y la entropía puede ayudar a conocer su evolución de una forma objetiva.

### ***6.5. Agilidad reactiva vs. velocidad en cambios de dirección***

En cuanto a la comparativa entre la realización del test de agilidad con o sin reacción a un estímulo, se han encontrado correlaciones bajas y diferencias significativas tanto en la variable de tiempo, relacionada con el rendimiento en la acción, como en la de entropía, relacionada con parámetros de ejecución. Estos resultados concuerdan con lo encontrado en estudios previos confirmando que la VCdD y la AR son capacidades independientes y que, por tanto, deben ser entrenadas y valoradas de forma diferenciada (Popowczak et al., 2021; Warren B. Young, Dawson, et al., 2015).

En el contexto de los deportes colectivos es bien conocido y ampliamente utilizado el entrenamiento de la VCdD y se reconoce su importancia en el rendimiento. Sin embargo, es fundamental comprender que, a pesar de tratarse de una capacidad importante cuyo entrenamiento y desarrollo son necesarios, la mejora aislada del cambio de dirección en situaciones preplaneadas no necesariamente se traduce en un mejor desempeño en situaciones de juego que requieran respuestas a estímulos imprevisibles. Esto se debe a que los factores cognitivos desempeñan un papel fundamental en estas situaciones, incluyendo aspectos como el escaneo visual, el reconocimiento de patrones y la anticipación, entre otros, que no se desarrollan en el entrenamiento de situaciones planificadas y controladas (W. Young et al., 2021).

Por lo tanto, resulta esencial incorporar también tareas específicas de AR en el entrenamiento que incluyan la respuesta a estímulos deportivos específicos y trabajen el desarrollo de los factores cognitivos previamente mencionados. Esto permitirá llevar las mejoras obtenidas a situaciones prácticas de juego y alcanzar un rendimiento superior en competición.

Mediante la incorporación de tareas de cambio de dirección se pueden mejorar aspectos de la velocidad de movimiento de forma analítica, y mediante la inclusión de tareas de AR se asegura la capacidad de adaptar el patrón de movimiento a estímulos inesperados, además de potenciar el desarrollo de los factores cognitivos que desempeñan un papel clave tanto en la AR como dentro de situaciones de juego competitivas.

### **6.6. *Líneas de futuro***

Los hallazgos encontrados a través de los tres artículos que conforman esta tesis doctoral pueden sentar las bases y servir de punto de partida para una serie de investigaciones futuras que amplíen el conocimiento sobre la agilidad y su valoración desde una perspectiva diferente, teniendo en cuenta no solo el resultado de la acción (el tiempo total), sino también aspectos referentes a su ejecución (la variabilidad de movimiento).

En primer lugar, sería necesario desarrollar test de agilidad más complejos y que simulen en mayor medida las exigencias condicionales y cognitivas del deporte valorado. Estos test deben

incorporar tomas de decisión más exigentes en contextos más complejos y realistas. Además, es necesario evolucionar en cuanto a las variables de medida utilizadas para su valoración de forma que no solo se valore el rendimiento de la acción a través de variables de resultado como el tiempo total, sino también mediante variables que ayuden a entender aspectos de su ejecución, como puede ser la variabilidad de movimiento utilizada en esta tesis.

Por otro lado, en esta tesis se ha comprobado que la inclusión de la conducción de balón y/o la reacción a un estímulo externo disminuyen el rendimiento y la variabilidad de movimiento en una tarea de agilidad. Sin embargo, es necesario ampliar la investigación existente para comprobar cómo pueden afectar diferentes tipos de condicionantes —incluidos en diferentes momentos de la tarea y en diferentes tipos de tarea y contextos— ya sea aumentando o disminuyendo el rendimiento y la variabilidad de movimiento, y si ello supone un mayor o menor control y/o un mayor o menor nivel de ejecución.

Por otra parte, una de las mayores carencias de esta tesis es la ausencia de un estudio longitudinal que compruebe la evolución de la variabilidad de movimiento y del tiempo total con un entrenamiento sistemático de la agilidad y la inclusión de diferentes condicionantes. En futuros trabajos se pretende abordar esta investigación, que ayudará a determinar de una forma más exacta qué ocurre con el desarrollo y el dominio de la agilidad en estas variables y cómo se puede evolucionar en el entrenamiento para seguir consiguiendo mejoras.

Por último, y debido a la diferenciación encontrada entre las capacidades de cambio de dirección preplaneado y en respuesta a un estímulo, en futuras investigaciones se debería investigar la influencia de uno y otro tipo de entrenamiento sobre ambas capacidades, de forma ayude a determinar cuál es el tipo de entrenamiento más adecuado para mejorar cada una de ellas.

Además, resulta de vital importancia conseguir una simplificación de los métodos de valoración de la variabilidad de movimiento a través de medidas no lineales, a fin de hacerla más accesible y aplicable a entornos cotidianos deportivos y de campo que permitan su uso y evaluación de forma práctica y confiable.

Estas líneas de investigación futuras se proponen como continuación lógica de los hallazgos y conclusiones obtenidos en los tres artículos de esta tesis doctoral.



## **7. Conclusiones**

---



1. Los test utilizados hasta el momento para valorar la AR han demostrado una alta fiabilidad, independientemente del tipo de estímulo utilizado. Sin embargo, debido a su mayor accesibilidad y especificidad, el uso de un estímulo humano es la mejor opción para su evaluación.
2. La mayoría de test utilizados hasta el momento se realizan en contextos simples, en respuesta a un único estímulo que, en muchos casos, es inespecífico, y con únicamente dos opciones de respuesta. A pesar de que con los años se han creado nuevos test algo más complejos, todavía es necesario desarrollar alternativas de valoración con un mayor número de respuestas posibles y en reacción a estímulos específicos.
3. La valoración del rendimiento en agilidad mediante la medición de la variabilidad de movimiento a través de la entropía de la señal de acelerometría del cuerpo durante la acción puede proporcionar información adicional referente a aspectos coordinativos que inciden sobre la ejecución de la acción que, combinados con la valoración del tiempo total, pueden dar una idea del grado de dominio de la habilidad por parte del sujeto.
4. El uso combinado de la medición de la entropía y del tiempo total en un test de agilidad puede servir para comprobar la influencia de la inclusión de ciertos condicionantes sobre la tarea, ayudando a medir su evolución y a tomar decisiones respecto a la

programación del entrenamiento, no solo desde una perspectiva condicional sino también coordinativa.

5. El aumento de la dificultad de la tarea mediante la inclusión del balón, y/o el aumento de la cantidad de información del entorno mediante la inclusión de una reacción a un estímulo provocan una disminución de la velocidad y la entropía. Además, se aprecia una correlación negativa moderada entre el tiempo total y la entropía, confirmando que los movimientos más rápidos presentan mayor irregularidad y, por tanto, mayor variabilidad.
6. La VCdD y la AR son capacidades diferentes, no solo teniendo en cuenta el tiempo total, sino también midiendo la variabilidad de movimiento a través de la entropía. Por esta razón es necesario aplicar formas de valoración y programas de entrenamiento diferenciados para cada una de estas capacidades haciendo énfasis en una u otra en función de los resultados de las valoraciones realizadas y de las características del deporte entrenado.

## 8. Referencias

---



- Akbari, H., Kuwano, S., & Shimokochi, Y. (2023). Effect of Heading a Soccer Ball as an External Focus During a Drop Vertical Jump Task. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 11(4), 1–9. <https://doi.org/10.1177/23259671231164706>
- Altmann, S., Ringhof, S., Neumann, R., Woll, A., & Rumpf, M. C. (2019). Validity and reliability of speed tests used in soccer: A systematic review. In *PLoS ONE* (Vol. 14, Issue 8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220982>
- Andrašić, S., Gušić, M., Stanković, M., Mačak, D., Bradić, A., Sporiš, G., & Trajković, N. (2021). Speed, change of direction speed and reactive agility in adolescent soccer players: Age related differences. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11). <https://doi.org/10.3390/ijerph18115883>
- Barris, S., Farrow, D., & Davids, K. (2014). Increasing functional variability in the preparatory phase of the takeoff improves elite springboard diving performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 85(1), 97–106. <https://doi.org/10.1080/02701367.2013.872220>
- Bartlett, R. (2008). Movement Variability and its Implications for Sports Scientists and Practitioners: An Overview. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 3(1), 113–124. <https://doi.org/10.1260/174795408784089397>
- Bartlett, R., Wheat, J., & Robins, M. (2007). Is movement variability important for sports biomechanists? *Sports Biomechanics*, 6(2),

- 224–243. <https://doi.org/10.1080/14763140701322994>
- Bates, B. T. (1996). Single-subject methodology: an alternative approach. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(5), 631–638. <https://doi.org/10.1097/00005768-199605000-00016>
- Beato, M., Datson, N., Anderson, L., Brownlee, T., Coates, A., & Hulton, A. (2023). Rationale and Practical Recommendations for Testing Protocols in Female Soccer: A Narrative Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Publish Ah. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000004509>
- Bekris, E., Gissis, I., & Kounalakis, S. (2018). The dribbling agility test as a potential tool for evaluating the dribbling skill in young soccer players. *Research in Sports Medicine*, 26(4), 425–435. <https://doi.org/10.1080/15438627.2018.1492395>
- Bernstein, N. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. Pergamon.
- Birklbauer, J. (2019). *Optimal variability for effective motor learning: A theoretical review and empirical work on movement variability* (M. & Meyer (ed.)).
- Bisi, M. C., & Stagni, R. (2016). Complexity of human gait pattern at different ages assessed using multiscale entropy: From development to decline. *Gait and Posture*, 47, 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.04.001>
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007). Physical demands of different positions in FA Premier League soccer.

- Journal of Sports Science and Medicine*, 6, 63–70.
- Boltzmann, L. (1896). Reply to Zermelo's Remarks on the Theory of Heat. *Annalen Der Physik*, 57(2), 773–784.  
[https://doi.org/10.1142/9781848161337\\_0021](https://doi.org/10.1142/9781848161337_0021)
- Born, D. P., Zinner, C., Düking, P., & Sperlich, B. (2016). Multi-directional sprint training improves change-of-direction speed and reactive agility in young highly trained soccer players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15(2), 314–319.
- Bradley, P. S., Dellal, A., Mohr, M., Castellano, J., & Wilkie, A. (2013). Gender differences in match performance characteristics of soccer players competing in the UEFA Champions League. *Human Movement Science*.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2013.07.024>
- Brown, L. E., & Ferrigno, V. . (2005). *Training for speed, agility, and quickness* (2nd ed.). Human Kinetics.
- Brown, S. R., Brughelli, M., & Hume, P. A. (2014). Knee Mechanics During Planned and Unplanned Sidestepping: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 44(11), 1573–1588. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0225-3>
- Bruce, L., Farrow, D., Raynor, A., & Mann, D. (2012). But I can't pass that far! The influence of motor skill on decision making. *Psychology of Sport and Exercise*, 13(2), 152–161.  
<https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2011.10.005>
- Brughelli, M., Cronin, J., Levin, G., & Chaouachi, A. (2008).

- Understanding Change of Direction Ability in Sport: A Review of Resistance Training Studies. *Sports Medicine*, 38(12), 1045–1063. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838120-00007>
- Büchel, D., Gokeler, A., Heuvelmans, P., & Baumeister, J. (2022). Increased Cognitive Demands Affect Agility Performance in Female Athletes - Implications for Testing and Training of Agility in Team Ball Sports. *Perceptual and Motor Skills*, 129(4), 1074–1088. <https://doi.org/10.1177/00315125221108698>
- Bullock, W., Panchuk, D., Broatch, J., Christian, R., & Stepto, N. K. (2012). An integrative test of agility, speed and skill in soccer: Effects of exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(5), 431–436. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.03.002>
- Button, C., Macleod, M., Sanders, R., & Coleman, S. (2003). Examining movement variability in the basketball free-throw action at different skill levels. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74(3), 257–269. <https://doi.org/10.1080/02701367.2003.10609090>
- Caballero, C., Davids, K., Heller, B., Wheat, J., & Moreno, F. J. (2019). Movement variability emerges in gait as adaptation to task constraints in dynamic environments. *Gait and Posture*, 70, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.02.002>
- Caldbeck, P., & Dos'Santos, T. (2022). A classification of specific movement skills and patterns during sprinting in English Premier League soccer. *PLoS ONE*, 17(11 November), 1–17.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277326>

Calmels, C. (2020). Neural correlates of motor expertise: Extensive motor training and cortical changes. *Brain Research*, 1739(July), 146323. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2019.146323>

Carnot, S. (1824). Reflections on the Motive Power of Fire and on the Machines Appropriate for Developing this Power. *Annales de l'École Normale*, 2(1), 393–457.

Chaalali, A., Rouissi, M., Chtara, M., Owen, A., Bragazzi, N. L., Moalla, W., Chaouachi, A., Amri, M., & Chamari, K. (2016). Agility training in young elite soccer players: promising results compared to change of direction drills. *Biology of Sport*, 33(4), 345–351. <https://doi.org/10.5604/20831862.1217924>

Chaouachi, A., Chtara, M., Hammami, R., Chtara, H., Turki, O., & Castagna, C. (2014). Multidirectional Sprints and Small-Sided Games Training Effect on Agility and Change of Direction Abilities in Youth Soccer. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(11), 3121–3127.

Ciocca, G., Tessitore, A., & Tschan, H. (2022). Agility and change-of-direction speed are two different abilities also during the execution of repeated trials and in fatigued conditions. *PLoS ONE*, 17(6 June), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269810>

Čoh, M., Vodičar, J., Žvan, M., Šimenko, J., Stodolka, J., Rauter, S., & Mačkala, K. (2018). Are Change-of-Direction Speed and

209

- Reactive Agility Independent Skills Even When Using the Same Movement Pattern? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(7), 1929–1936. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002553>
- Conte, D., Scanlan, A. T., Dalbo, V. J., Gang, S. Z., Smith, M. R., Bietkis, T., & Matulaitis, K. (2020). Dribble Deficit quantifies dribbling speed independently of sprinting speed and differentiates between age categories in pre-Adolescent basketball players. *Biology of Sport*, 37(3), 261–267. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2020.95637>
- Costa, M., Goldberger, A. L., & Peng, C. K. (2002). Multiscale Entropy Analysis of Complex Physiologic Time Series. *Physical Review Letters*, 89(6), 6–9. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.89.068102>
- Couceiro, M., Clemente, F., Dias, G., Mendes, P., Martins, F., & Mendes, R. (2014). On an Entropy-based Performance Analysis in Sports. *1st International Electronic Conference on Entropy and Its Applications*. <https://doi.org/10.3390/ecea-1-a008>
- Couceiro, M. S., Clemente, F. M., Martins, F. M. L., & Tenreiro Machado, J. A. (2014). Dynamical stability and predictability of football players: The study of one match. *Entropy*, 16(2), 645–674. <https://doi.org/10.3390/e16020645>
- Cowin, J., Nimphius, S., Fell, J., Culhane, P., & Schmidt, M. (2022). A Proposed Framework to Describe Movement Variability within Sporting Tasks: A Scoping Review. *Sports Medicine -*

- Open*, 8(85). <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00473-4>
- Dalecki, M., Gorbet, D. J., Macpherson, A., & Sergio, L. E. (2019). Sport experience is correlated with complex motor skill recovery in youth following concussion. *European Journal of Sport Science*, 19(9), 1257–1266. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1584249>
- Datson, N., Drust, B., Weston, M., Jarman, I. H., Lisboa, P. J., & Gregson, W. (2017). Match Physical Performance of Elite Female Soccer Players during International Competition. In *Journal of Strength and Conditioning Research* (Vol. 31, Issue 9). <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001575>
- Datson, N., Hulton, A., Andersson, H., Lewis, T., Weston, M., Drust, B., & Gregson, W. (2014). Applied physiology of female soccer: an update. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(9), 1225–1240. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0199-1>
- Dawes, J., & Sheppard, J. M. (2017). Factores que determinan la velocidad. In J. Dawes & M. Roozen (Eds.), *Desarrollo de la Agilidad y la Velocidad* (1st ed., pp. 29–39). Paidotribo.
- De Oliveira, E. A., Andrade, A. O., & Vieira, M. F. (2019). Linear and nonlinear measures of gait variability after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 46, 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2019.03.007>
- Dhawale, A. K., Smith, M. A., & Ölveczky, B. P. (2017). The Role of Variability in Motor Learning. *Annual Review of*

*Neuroscience*, 40, 479–498. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-072116-031548>

Diekfuss, J. A., Rhea, C. K., Schmitz, R. J., Grooms, D. R., Wilkins, R. W., Slutsky, A. B., & Raisbeck, L. D. (2019). The Influence of Attentional Focus on Balance Control over Seven Days of Training. *Journal of Motor Behavior*, 51(3), 281–292. <https://doi.org/10.1080/00222895.2018.1468312>

Dos'Santos, T., Cowling, I., Challoner, M., Barry, T., & Caldbeck, P. (2022). What are the significant turning demands of match play of an English Premier League soccer team? *Journal of Sports Sciences*, 40(15), 1750–1759. <https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2109355>

Dos'Santos, T., & Jones, P. A. (2023). Biomechanical and Physical Basis of Change of Direction for Performance and Injury Risk. In P. A. Jones & T. Dos'Santos (Eds.), *Multidirectional Speed in Sport. Research to Application* (1st ed., pp. 42–73). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003267881>

Drake, D., Kennedy, R., Davis, J., Godfrey, M., MacLeod, S., & Davis, A. (2017). A Step towards a Field Based Agility Test in Team Sports. *International Journal of Sports and Exercise Medicine*, 3(6), 1–7. <https://doi.org/10.23937/2469-5718/1510079>

Düking, P., Born, D. P., & Sperlich, B. (2016). The speedcourt: Reliability, usefulness, and validity of a new method to determine change-of-direction speed. *International Journal of*

- Sports Physiology and Performance*, 11(1), 130–134.  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0174>
- Edwards, S., Austin, A. P., & Bird, S. P. (2017). The role of the trunk control in athletic performance of a reactive change-of-direction task. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(1), 126–139. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001488>
- Engelbrecht, L., Terblanche, E., & Welman, K. E. (2016). Video-based perceptual training as a method to improve reactive agility performance in rugby union players. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 11(6), 799–809. <https://doi.org/10.1177/1747954116676106>
- Farrow, D., Young, W. B., & Bruce, L. (2005). The development of a test of reactive agility for netball: A new methodology. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 8(1), 52–60.
- Fernández-Valdés, B. (2020). *La variabilidad de movimiento en el entrenamiento de Fuerza en los deportes de equipo*. INEFC Barcelona.
- Fernández-Valdés, B., Jones, B., Hendricks, S., Weaving, D., Ramirez-Lopez, C., Whitehead, S., Gonzalez, J., Gisbert-Orozco, J., Trabucchi, M., & Moras, G. (2022). A novel application of entropy analysis for assessing changes in movement variability during cumulative tackles in young elite rugby league players. *Biology of Sport*, 40(1), 161–170.
- Fernández-Valdés, B., Sampaio, J., Exel, J., González, J., Tous-Fajardo, J., Jones, B., & Moras, G. (2020). The Influence of

Functional Flywheel Resistance Training on Movement Variability and Movement Velocity in Elite Rugby Players. *Frontiers in Psychology*, 11(June). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01205>

Fiorilli, G., Iuliano, E., Mitrotasios, M., Pistone, E. M., Aquino, G., Di Costanzo, A., Calcagno, G., & Di Cagno, A. (2017). Are change of direction speed and reactive agility useful for determining the optimal field position for young soccer players? *Journal of Sports Science and Medicine*, 16(2), 247–253.

Fiorilli, G., Mitrotasios, M., Iuliano, E., Pistone, E. M., Aquino, G., Calcagno, G., & Di Cagno, A. (2017). Agility and change of direction in soccer: Differences according to the player ages. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(12), 1597–1604. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06562-2>

Gabbett, T., & Benton, D. (2009). Reactive agility of rugby league players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 212–214. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.08.011>

Gabbett, T. J., Jenkins, D. G., & Abernethy, B. (2011). Relative importance of physiological, anthropometric, and skill qualities to team selection in professional rugby league. *Journal of Sports Sciences*, 29(13), 1453–1461. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.603348>

Gabbett, T. J., Kelly, J. N., & Sheppard, J. M. (2008). Speed, change of direction speed, and reactive agility of rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 174–

181. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31815ef700>
- Gabbett, T., Rubinoff, M., Thorburn, L., & Farrow, D. (2007). Testing and Training Anticipation Skills in Softball Fielders. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 2(1), 15–24. <https://doi.org/10.1260/174795407780367159>
- Giesche, F., Stief, F., Groneberg, D. A., & Wilke, J. (2021). Effect of unplanned athletic movement on knee mechanics: A systematic review with multilevel meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 55(23), 1366–1378. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-103933>
- Gokeler, A., Neuhaus, D., Benjaminse, A., Grooms, D. R., & Baumeister, J. (2019). Principles of Motor Learning to Support Neuroplasticity After ACL Injury: Implications for Optimizing Performance and Reducing Risk of Second ACL Injury. *Sports Medicine*, 49(6), 853–865. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01058-0>
- Gonçalves, B., Folgado, H., Coutinho, D., Marcelino, R., Wong, D., Leite, N., & Sampaio, J. (2018). Changes in Effective Playing Space When Considering Sub-Groups of 3 to 10 Players in Professional Soccer Matches. *Journal of Human Kinetics*, 62(1), 145–155. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0166>
- Gorman, A. D., & Maloney, M. A. (2016). Representative design: Does the addition of a defender change the execution of a basketball shot? *Psychology of Sport and Exercise*, 27, 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2016.08.003>

- Gray, R. (2020). Changes in Movement Coordination Associated With Skill Acquisition in Baseball Batting: Freezing/Freeing Degrees of Freedom and Functional Variability. *Frontiers in Psychology*, 11(June), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01295>
- Green, B. S., Blake, C., & Caulfield, B. M. (2011). A valid field test protocol of linear speed and agility in rugby union. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(5), 1256–1262. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d8598b>
- Guimarães, A. N., Ugrinowitsch, H., Dascal, J. B., Porto, A. B., & Okazaki, V. H. A. (2020). Freezing degrees of freedom during motor learning: A systematic review. *Motor Control*, 24(3), 457–471. <https://doi.org/10.1123/MC.2019-0060>
- Hamill, J., Palmer, C., & Van Emmerik, R. E. A. (2012). Coordinative variability and overuse injury. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy and Technology*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.1186/1758-2555-4-45>
- Hamill, J., Van Emmerik, R. E. A., Heiderscheit, B. C., & Li, L. (1999). A dynamical systems approach to lower extremity running injuries. *Clinical Biomechanics*, 14(5), 297–308. [https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(98\)90092-4](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(98)90092-4)
- Hamilton, G. R., & Reinschmidt, C. (2010). Optimal trajectory for the basketball free throw. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15(5), 491–504.
- Harbourne, R. T., & Stergiou, N. (2009). Movement variability and

- the use of nonlinear tools: Principles to guide physical therapist practice. *Physical Therapy*, 89(3), 267–282.  
<https://doi.org/10.2522/ptj.20080130>
- Haudum, A., Birklbauer, J., & Müller, E. (2014). The effect of external perturbations on variability in joint coupling and single joint variability. *Human Movement Science*, 36, 246–257.  
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.02.004>
- Henry, G., Dawson, B., Lay, B., & Young, W. (2012). Effects of a feint on reactive agility performance. *Journal of Sports Sciences*, 30(8), 787–795.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2012.671527>
- Henry, G. J., Dawson, B., Lay, B. S., & Young, W. B. (2013). Decision-Making Accuracy in Reactive Agility: Quantifying the Cost of Poor Decisions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(11), 3190–3196.
- Henry, G. J., Dawson, B., Lay, B. S., & Young, W. B. (2016). Relationships between reactive agility movement time and unilateral vertical, horizontal, and lateral jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(9), 2514–2521.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a20ebc>
- Henry, G., Lay, B., & Young, W. B. (2011). Validity of a Reactive Agility Test for Australian Football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(4), 534–545.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.05.006>
- Hojka, V., Stastny, P., Rehak, T., Gołas, A., Mostowik, A., Zawart,

- M., & Musálek, M. (2016). A systematic review of the main factors that determine agility in sport using structural equation modeling. *Journal of Human Kinetics*, 52(1), 115–123. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0199>
- Holding, R., Meir, R. A., & Zhou, S. (2014). Assessing response time reliability in a simple 1-v-1 defensive scenario relevant to rugby football. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 22(5), 111–115.
- Holding, R., Meir, R., & Zhou, S. (2017). Can Previewing Sport-Specific Video Influence Reactive-Agility Response Time? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), 224–229. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0803>
- James, C. R., Dufek, J. S., & Bates, B. T. (2000). Effects of injury proneness and task difficulty on joint kinetic variability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(11), 1833–1844. <https://doi.org/10.1097/00005768-200011000-00004>
- Jòdar-Portas, A., López-Ros, V., Prats-Puig, A., Beltran-Garrido, J. V., Parera, M., Romero-Rodríguez, D., Gonzalo-Skok, O., Graham, S., & Font-Lladó, R. (2023). Validity and reliability of the V-cut dribbling test in young basketball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 18(6), 660–666. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2022-0207>
- Komar, J., Seifert, L., & Thouvarecq, R. (2015). What variability tells us about motor expertise: Measurements and perspectives from

- a complex system approach. *Movement and Sports Sciences - Science et Motricite*, 89, 65–77.  
<https://doi.org/10.1051/sm/2015020>
- Krolo, A., Gilic, B., Foretic, N., Pojskic, H., Hammami, R., Spasic, M., Uljevic, O., Versic, S., & Sekulic, D. (2020). Agility testing in youth football (Soccer) players; evaluating reliability, validity, and correlates of newly developed testing protocols. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph17010294>
- Kutlu, M., Yapici, H., & Yilmaz, A. (2017). Reliability and Validity of a New Test of Agility and Skill for Female Amateur Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, 56(1), 219–227.  
<https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0039>
- Lametti, D. R., & Ostry, D. J. (2010). Postural constraints on movement variability. *Journal of Neurophysiology*, 104(2), 1061–1067. <https://doi.org/10.1152/jn.00306.2010>
- Legg, J., Pyne, D. B., Semple, S., & Ball, N. (2017). Variability of jump kinetics related to training load in elite female basketball. *Sports*, 5(4), 1–9. <https://doi.org/10.3390/sports5040085>
- Lemmink, K. A. P. M., Elferink-Gemser, M. T., & Visscher, C. (2004). Evaluation of the reliability of two field hockey specific sprint and dribble tests in young field hockey players. *British Journal of Sports Medicine*, 38(2), 138–142.  
<https://doi.org/10.1136/bjsm.2002.001446>
- Li, J., Huang, M., Cao, Y., Qin, Z., & Lang, J. (2023). Long-term

Intensive Soccer Training Induced Dynamic Reconfiguration of Brain Network. *Neuroscience*, 530, 133–143.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2023.08.020>

Lockie, R. G., Jeffriess, M. D., McGann, T. S., Callaghan, S. J., & Schultz, A. B. (2014). Planned and Reactive Agility Performance in Semiprofessional and Amateur Basketball Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(5), 766–771.  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0324>

Lockie, R. G., Post, B. K., & Dawes, J. J. (2019). Physical Qualities Pertaining to Shorter and Longer Change-of-Direction Speed Test Performance in Men and Women. *Sports*, 7(2), 45.  
<https://doi.org/10.3390/sports7020045>

Low, B., Coutinho, D., Gonçalves, B., Rein, R., Memmert, D., & Sampaio, J. (2020). A Systematic Review of Collective Tactical Behaviours in Football Using Positional Data. In *Sports Medicine* (Vol. 50, Issue 2). Springer International Publishing.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-019-01194-7>

Lubetzky, A. V., Harel, D., & Lubetzky, E. (2018). On the effects of signal processing on sample entropy for postural control. *PLoS ONE*, 13(3), 1–15.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193460>

Makhlouf, I., Tayech, A., Mejri, M. A., Haddad, M., Behm, D. G., Granacher, U., & Chaouachi, A. (2022). Reliability and validity

- of a modified Illinois change-of-direction test with ball dribbling speed in young soccer players. *Biology of Sport*, 39(2), 295–306. <https://doi.org/10.5114/BIOLSPORT.2022.104917>
- Mara, J. K., Thompson, K. G., Pumpa, K. L., & Morgan, S. (2017). Quantifying the High-Speed Running and Sprinting Profiles of Elite Female Soccer Players During Competitive Matches Using an Optical Player Tracking System. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(6), 1500–1508.
- Markovic, G. (2007). Poor relationship between strength and power qualities and agility performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47, 276–283.
- Marshall, B. M., Franklyn-Miller, A. D., King, E. A., Moran, K. A., Strike, S. C., & Falvey, É. C. (2014). Biomechanical Factors Associated With Time to Complete a Change of Direction Cutting Maneuver. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(10), 2845–2851.
- Matlák, J., Tihanyi, J., & Rácz, L. (2016). Relationship between Reactive Agility and Change of Direction Speed in Amateur Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1547–1552. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001262>
- Meir, R., Holding, R., & Hetherington, J. (2014). Impact of the Two-Handed Rugby Ball Carry on Change of Direction Speed and Reactive Agility: Implications for Sport Specific Testing. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 9(5),

1181–1190. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.9.5.1181>

- Menayo, R., Moreno, F. J., Fuentes, J. P., Reina, R., & Damas, J. S. (2012). Relationship between motor variability, accuracy, and ball speed in the tennis serve. *Journal of Human Kinetics*, 33(1), 45–53. <https://doi.org/10.2478/v10078-012-0043-3>
- Mendes, P. C., Fuentes, J. P., Mendes, R., Martins, F. M. L., Clemente, F. M., & Couceiro, M. S. (2013). The variability of the serve toss in tennis under the influence of artificial crosswind. *Journal of Sports Science & Medicine*, 12(2), 309–315. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24149810><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC3761841>
- Mijatovic, D., Krivokapic, D., Versic, S., Dimitric, G., & Zenic, N. (2022). Change of Direction Speed and Reactive Agility in Prediction of Injury in Football; Prospective Analysis over One Half-Season. *Healthcare*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/healthcare10030440>
- Moras, G., Fernández-Valdés, B., Vázquez-Guerrero, J., Tous-Fajardo, J., Exel, J., & Sampaio, J. (2018). Entropy measures detect increased movement variability in resistance training when elite rugby players use the ball. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(12), 1286–1292. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.05.007>
- Morland, B., Bottoms, L., Sinclair, J., & Bourne, N. (2013). Can

- change of direction speed and reactive agility differentiate female hockey players? *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 13(2), 510–521.  
<https://doi.org/10.1080/24748668.2013.11868666>
- Morral, M., Moras, G., Bishop, C., & Gonzalo-skok, O. (2020). Assessing the Reliability and Validity of Agility Testing in Team Sports : A Systematic Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003753>
- Morral Yepes, M., Gonzalo-Skok, O., Fernández Valdés, B., Bishop, C., Tuyà, S., & Moras Feliu, G. (2023). Assessment of movement variability and time in a football reactive agility task depending on constraints. *Sports Biomechanics*, 00(00), 1–17.  
<https://doi.org/10.1080/14763141.2023.2214533>
- Mujika, I., Santisteban, J., Impellizzeri, F. M., & Castagna, C. (2009). Fitness determinants of success in men's and women's football. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 107–114.  
<https://doi.org/10.1080/02640410802428071>
- Murray, A., Buttfield, A., Simpkin, A., Sproule, J., & Turner, A. P. (2019). Variability of within-step acceleration and daily wellness monitoring in Collegiate American Football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(4), 488–493.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.10.013>
- Murray, A. M., Ryu, J. H., Sproule, J., Turner, A. P., Graham-Smith, P., & Cardinale, M. (2017). A pilot study using entropy as a

- noninvasive assessment of running. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(8), 1119–1122.  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0205>
- Naylor, J., & Greig, M. (2015). A hierarchical model of factors influencing a battery of agility tests. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(11), 1329–1335.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25567047>
- Newell, K., & James, E. G. (2008). The Amount and Structure of Human Movement Variability. In Y. H. & R. Bartlett (Ed.), *Handbook of Biomechanics and Human Movement Science* (Routledge, pp. 93–104).
- Newell, K. M., & Vaillancourt, D. E. (2001). Dimensional change in motor learning. *Human Movement Science*, 20(4–5), 695–715.  
[https://doi.org/10.1016/S0167-9457\(01\)00073-2](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(01)00073-2)
- NHLBI. (2014). *Quality Assessment Tool for Observational Cohort and Cross-Sectional Studies*. Bethesda, MD: National Institutes of Health, Department of Health and Human Services.  
<https://www.nhlbi.nih.gov/health-pro/guidelines/in-develop/cardiовascular-risk-reduction/tools/cohort>
- Nimmerichter, A., Weber, N., Wirth, K., & Haller, A. (2016). Effects of Video-Based Visual Training on Decision-Making and Reactive Agility in Adolescent Football Players. *Sports*, 4(1), 1.  
<https://doi.org/10.3390/sports4010001>
- Nimphius, S., Callaghan, S. J., Bezodis, N. E., & Lockie, R. G. (2018). Change of Direction and Agility Tests: Challenging Our

- Current Measures of Performance. *Strength and Conditioning Journal*, 40(1), 26–38.  
<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000309>
- Nóbrega, A., Sarmento, H., Vaz, V., Gouveia, V., Barrera, J., Martins, A., Santos, T., & Duarte, J. P. (2023). Reliability of the Coimbra Reactive Agility Soccer Test (CRAST). *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 8(1), 11.  
<https://doi.org/10.3390/jfmk8010011>
- Nordin, A. D., & Dufek, J. S. (2019). Reviewing the Variability-Overuse Injury Hypothesis: Does Movement Variability Relate to Landing Injuries? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 90(2), 190–205.  
<https://doi.org/10.1080/02701367.2019.1576837>
- Nordin, A. D., Dufek, J. S., James, C. R., & Bates, B. T. (2017). Classifying performer strategies in drop landing activities. *Journal of Sports Sciences*, 35(18), 1858–1863.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1240876>
- Orellana, J. N., & De La Cruz Torres, B. (2010). La entropía y la irreversibilidad temporal multiescala en el análisis de sistemas complejos en fisiología humana. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, 3(1), 29–32.
- Orth, D., van der Kamp, G. J. P., Memmert, D., & Savelsbergh, G. J. P. (2017). Creative motor actions as emerging from movement variability. *Frontiers in Psychology*, 8(OCT), 1–8.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01903>

- Paul, D. J., Gabbett, T. J., & Nassis, G. P. (2015). Agility in Team Sports: Testing, Training and Factors Affecting Performance. *Sports Medicine*, 46(3), 421–442. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0428-2>
- Pérez-Chirinos, C., Fernández-Valdés, B., Morral-Yepes, M., Tuyà, S., Padullés, J. M., & Moras, G. (2021). Validity of a Magnet - Based Timing System Using the Magnetometer Built into an IMU. *Sensors*, 21(5773). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s21175773>
- Pillitteri, G., Giustino, V., Petrucci, M., Rossi, A., Bellafiore, M., Thomas, E., Iovane, A., Bianco, A., Palma, A., & Battaglia, G. (2023). External load profile during different sport-specific activities in semi-professional soccer players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 15(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13102-023-00633-3>
- Pincus, S. (1995). Approximate entropy (ApEn) as a complexity measure. *Chaos*, 5(1), 110–117. <https://doi.org/10.1063/1.166092>
- Pojškic, H., Åslin, E., Krolo, A., Jukic, I., Uljevic, O., Spasic, M., & Sekulic, D. (2018). Importance of reactive agility and change of direction speed in differentiating performance levels in junior soccer players: Reliability and validity of newly developed soccer-specific tests. *Frontiers in Physiology*, 9(MAY), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00506>
- Popowczak, M., Cichy, I., Rokita, A., & Domaradzki, J. (2021). The

- Relationship Between Reactive Agility and Change of Direction Speed in Professional Female Basketball and Handball Players. *Frontiers in Psychology*, 12(September), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.708771>
- Preatoni, E., Ferrario, M., Donà, G., Hamill, J., & Rodano, R. (2010). Motor variability in sports: A non-linear analysis of race walking. *Journal of Sports Sciences*, 28(12), 1327–1336. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.507250>
- Ramirez-Campillo, R., Gentil, P., Moran, J., Dalbo, V. J., & Scanlan, A. T. (2019). Dribble deficit enables measurement of dribbling speed independent of sprinting speed in collegiate, male, basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 000(000), 1–6. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003030>
- Ranganathan, R., Lee, M. H., & Newell, K. M. (2020). Repetition Without Repetition: Challenges in Understanding Behavioral Flexibility in Motor Skill. *Frontiers in Psychology*, 11(August), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.02018>
- Rauter, S., Simenko, J., Zvan, M., Coh, M., Mackala, K., Szmajda, L., Vodicar, J., & Krizaj, J. (2018). Analysis of reactive agility and change-of-direction speed between soccer players and physical education students. *Human Movement*, 2018(2), 68–74. <https://doi.org/10.5114/hm.2018.74061>
- Reilly, T., Williams, A. M., Nevill, A., & Franks, A. (2000). A multidisciplinary approach to talent identification in soccer.

*Journal of Sports Sciences*, 18, 695–702.  
<https://doi.org/10.1080/02640410050120078>

Renshaw, I., Chow, J. Y., Davids, K., & Hammond, J. (2010). A constraints-led perspective to understanding skill acquisition and game play: A basis for integration of motor learning theory and physical education praxis? *Physical Education and Sport Pedagogy*, 15(2), 117–137.  
<https://doi.org/10.1080/17408980902791586>

Rhea, C. K., Diekfuss, J. A., Fairbrother, J. T., & Raisbeck, L. D. (2019). Postural control entropy is increased when adopting an external focus of attention. *Motor Control*, 23(2), 230–242.  
<https://doi.org/10.1123/mc.2017-0089>

Rhea, C. K., Silver, T. A., Hong, S. L., Ryu, J. H., Studenka, B. E., Hughes, C. M. L., & Haddad, J. M. (2011). Noise and complexity in human postural control: Interpreting the different estimations of entropy. *PLoS ONE*, 6(3), 1–9.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017696>

Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate and sample entropy. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 278(6 47-6), 2039–2049.  
<https://doi.org/10.1152/ajpheart.2000.278.6.h2039>

Robalo, R. A. M., Diniz, A. M. F. A., Fernandes, O., & Passos, P. J. M. (2020). The role of variability in the control of the basketball dribble under different perceptual setups. *European Journal of*

- Sport Science*, 21(4), 521–530.  
<https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1759695>
- Robins, M. (2006). The effect of shooting distance on movement variability in basketball. *Journal of Human Movement Studies*, 50(4), 217–238.
- Romeas, T., & Faubert, J. (2015). Soccer athletes are superior to non-athletes at perceiving soccer-specific and non-sport specific human biological motion. *Frontiers in Psychology*, 6(September). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01343>
- Rouissi, M., Chtara, M., Owen, A., Burnett, A., & Chamari, K. (2017). Change of direction ability in young elite soccer players: determining factors vary with angle variation. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(7–8), 960–968.  
<https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06576-2>
- Salaj, S., & Markovic, G. (2011). Specificity of jumping, sprinting, and quick change-of-direction motor abilities. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 1249–1255.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181da77df>
- Sattler, T., & Šajber, D. (2015). Change of Direction Speed and Reactive Agility Performance - the Reliability of a Newly Constructed Measuring Protocols: a Brief Report. *Kinesiology Slovenica*, 21(2), 31–38.  
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=111415014&site=ehost-live>
- Sattler, T., Sekulić, D., Spasić, M., Perić, M., Krolo, A., Uljević, O.,

- & Kondrič, M. (2015). Analysis of the Association between Motor and Anthropometric Variables with Change of Direction Speed and Reactive Agility Performance. *Journal of Human Kinetics*, 47(1), 137–145. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0069>
- Scanlan, A., Humphries, B., Tucker, P. S., & Dalbo, V. (2013). The influence of physical and cognitive factors on reactive agility performance in men basketball players. *Journal of Sports Sciences*. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.825730>
- Scanlan, A. T., Tucker, P. S., & Dalbo, V. J. (2014). A comparison of linear Speed, closed-skill agility, and open-skill agility qualities between backcourt and frontcourt adult semiprofessional male basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(5), 1319–1327.
- Scanlan, A. T., Tucker, P. S., & Dalbo, V. J. (2015). The importance of open- and closed-skill agility for team selection of adult male basketball players. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 55 (5), 390–396.
- Scanlan, A. T., Wen, N., Spiteri, T., Milanović, Z., Conte, D., Guy, J. H., Delextrat, A., & Dalbo, V. J. (2018). Dribble Deficit: A novel method to measure dribbling speed independent of sprinting speed in basketball players. *Journal of Sports Sciences*, 36(22), 2596–2602. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1470217>
- Seifert, L., Button, C., & Davids, K. (2013). Key properties of expert

- movement systems in sport: An ecological dynamics perspective. *Sports Medicine*, 43(3), 167–178. <https://doi.org/10.1007/s40279-012-0011-z>
- Sekulic, D., Krolo, A., Spasic, M., Uljevic, O., & Peric, M. (2014). The development of a new Stop'n'go reactive-agility test. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(11), 3306–3312.
- Sekulic, D., Pehar, M., Krolo, A., Spasic, M., Uljevic, O., Calleja-González, J., & Sattler, T. (2017). Evaluation of Basketball-Specific Agility: Applicability of Preplanned and Nonplanned Agility Performances for Differentiating Playing Positions and Playing Levels. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(8), 2278–2288. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001646>
- Serpell, B. G., Ford, M., & Young, W. B. (2010). The Development of a New Test of Agility for Rugby League. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27, 3270–3277.
- Serpell, B. G., Young, W. B., & Ford, M. (2011). Are the perceptual and decision-making components of agility trainable? A preliminary investigation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(5), 1240–1248.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423.
- Sheppard, J. M., Young, W. B., Doyle, T. L. A., Sheppard, T. A., & Newton, R. U. (2006). An evaluation of a new test of reactive

- agility and its relationship to sprint speed and change of direction speed. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(4), 342–349. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.05.019>
- Sheppard, J., & Young, W. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 919–932. <https://doi.org/10.1080/02640410500457109>
- Shimokochi, Y., Ide, D., Kokubu, M., & Nakaoji, T. (2013). Relationships Among Performance Of Laterla Cutting Maneuver From Lateral Sliding and Hip Extension and Abduction Motions, Ground Reaction Force, and Body Center of Mass Height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(7), 1851–1860.
- Simonek, J., Horicka, P., & Hianik, J. (2016). Differences in pre-planned agility and reactive agility performance in sport games. *Acta Gymnica*, 46(2), 68–73. <https://doi.org/10.5507/ag.2016.006>
- Skok, O. G., & Tous, J. (2014). *La velocidad en el cambio de dirección en los deportes de equipo: Evaluación, especificidad y entrenamiento*. Facultad de Ciencias de la Salud y el Deporte. Universidad de Zaragoza.
- Smith, M. D., & Chamberlin, C. J. (2011). Effect of Adding Cognitively Demanding Tasks on Soccer Skill Performance. *Perceptual and Motor Skills*, 75(3), 955–961. <https://doi.org/10.2466/pms.1992.75.3.955>
- Spiteri, T. (2023). Developing perceptual-cognitive factors in

- relation to agility performance enhancement. In P. A. Jones & T. Dos'Santos (Eds.), *Multidirectional Speed in Sport. Research to Application* (1st ed., pp. 266–279). Routledge.
- Spiteri, T., Cochrane, J. L., Hart, N. H., Haff, G. G., & Nimphius, S. (2013). Effect of strength on plant foot kinetics and kinematics during a change of direction task. *European Journal of Sport Science*, 13(6), 646–652. <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.774053>
- Spiteri, T., Hart, N. H., & Nimphius, S. (2014). Offensive and defensive agility: A sex comparison of lower body kinematics and ground reaction forces. *Journal of Applied Biomechanics*, 30(4), 514–520. <https://doi.org/10.1123/jab.2013-0259>
- Spiteri, T., Newton, R. U., & Nimphius, S. (2015). Neuromuscular strategies contributing to faster multidirectional agility performance. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 25(4), 629–636. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2015.04.009>
- Spiteri, T., Nimphius, S., Hart, N. H., Specos, C., Sheppard, J. M., & Newton, R. U. (2014). Contribution of Strength Characteristics to Change of Direction Agility performance in Female Basketball Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(9), 2415–2423.
- Stergiou, N. (2016). *Nonlinear analysis for human movement variability* (N. Stergiou (ed.); 1st ed.). CRC Press (Taylor & Francis Group).
- Stergiou, N., Buzzi, U. H., Kurz, M. J., & Heidel, J. (2004). Non-

- linear tools in human movement. In *Innovative analysis in human movement* (pp. 163–186). Champaign. Human Kinetics.
- Stergiou, N., & Decker, L. M. (2011). Human movement variability, nonlinear dynamics, and pathology: Is there a connection? *Human Movement Science*, 30(5), 869–888. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.06.002>
- Stergiou, N., Harbourne, R. T., & Cavanaugh, J. T. (2006). Optimal movement variability: A new theoretical perspective for neurologic physical therapy. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 30(3), 120–129. <https://doi.org/10.1097/01.NPT.0000281949.48193.d9>
- Sternad, D. (2018). It's not (only) the mean that matters: variability, noise and exploration in skill learning. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 20, 183–195. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2018.01.004>
- Sutter, K., Wijdenes, L. O., Van Beers, R. J., & Medendorp, W. P. (2021). Movement preparation time determines movement variability. *Journal of Neurophysiology*, 125(6), 2375–2383. <https://doi.org/10.1152/jn.00087.2020>
- Taylor, J. B., Wright, A. A., Dischiavi, S. L., Townsend, M. A., & Marmon, A. R. (2017). Activity Demands During Multi-Directional Team Sports: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 47(12), 2533–2551. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0772-5>
- Trajković, N., Sporiš, G., Krističević, T., Madić, D. M., & Bogataj,

- Š. (2020). The importance of reactive agility tests in differentiating adolescent soccer players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11). <https://doi.org/10.3390/ijerph17113839>
- Trecroci, A., Longo, S., Perri, E., Iaia, F. M., & Alberti, G. (2018). Field-based physical performance of elite and sub-elite middle-adolescent soccer players. *Research in Sports Medicine*, 27(1), 60–71. <https://doi.org/10.1080/15438627.2018.1504217>
- Trecroci, A., Milanović, Z., Rossi, A., Broggi, M., Formenti, D., & Alberti, G. (2016). Agility profile in sub-elite under-11 soccer players: is SAQ training adequate to improve sprint, change of direction speed and reactive agility performance? *Research in Sports Medicine*, 24(4), 331–340. <https://doi.org/10.1080/15438627.2016.1228063>
- Tucker, C. B., Anderson, R., & Kenny, I. C. (2013). Is outcome related to movement variability in golf? *Sports Biomechanics*, 12(4), 343–354. <https://doi.org/10.1080/14763141.2013.784350>
- Tuyà Viñas, S., Fernández-Valdés, B., Pérez-Chirinos, C., González, J., & Moras Feliu, G. (2023). Decision making influences movement variability and performance of high-level female football players in an elastic resistance task. *Frontiers in Psychology*, 14(1175248). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1175248>
- Urbán, T., Caballero, C., Barbado, D., & Moreno, F. J. (2019). Do

- intentionality constraints shape the relationship between motor variability and performance? *PLoS ONE*, 14(4), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214237>
- Vagner, M., Cleather, D. J., Kubový, P., Hojka, V., & Stastny, P. (2022). Principal Component Analysis can Be Used to Discriminate Between Elite and Sub-Elite Kicking Performance. *Motor Control*, 1–19. <https://doi.org/10.1123/mc.2022-0073>
- Vaz, D. V., Avelar, B. S., & Resende, R. A. (2019). Effects of attentional focus on movement coordination complexity. *Human Movement Science*, 64(January 2018), 171–180. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.01.012>
- Veale, J. P., Pearce, A. J., & Carlson, J. S. (2010). Reliability and validity of a reactive agility test for australian football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(2), 239–248. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.2.239>
- Vescovi, J. D., Rupf, R., Brown, T. D., & Marques, M. C. (2011). Physical performance characteristics of high-level female soccer players 12-21 years of age. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21(5), 670–678. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01081.x>
- Wang, W., Feng, Q., Shangxiao, L., & Wang, L. (2021). Effects of motor skill level and speed on movement variability during running. *Journal of Biomechanics*, 127. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110680>

- Weinhandl, J. T., Earl-Boehm, J. E., Ebersole, K. T., Huddleston, W. E., Armstrong, B. S. R., & O'Connor, K. M. (2013). Anticipatory effects on anterior cruciate ligament loading during sidestep cutting. *Clinical Biomechanics*, 28(6), 655–663. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2013.06.001>
- Weir, G. (2022). Anterior cruciate ligament injury prevention in sport: Biomechanically informed approaches. *Sports Biomechanics*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.2016925>
- Weir, G., van Emmerik, R., Jewell, C., & Hamill, J. (2019). Coordination and variability during anticipated and unanticipated sidestepping. *Gait and Posture*, 67, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.09.007>
- Westwood, C., Killelea, C., Faherty, M., & Sell, T. (2020). Postural Stability Under Dual-Task Conditions: Development of a Post-Concussion Assessment for Lower-Extremity Injury Risk. *Journal of Sport Rehabilitation*, 29(1), 131–133. <https://doi.org/10.1123/jsr.2018-0358>
- Wheeler, K. W., & Sayers, M. G. L. (2010). Modification of Agility Running Technique in Reaction to a Defender in Rugby Union. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9, 445–451. <http://www.jssm.org/vol9/n3/13/v9n3-13text.php>
- Wilson, R. S., Smith, N. M. A., Ramos, S. de P., Giuliano Caetano, F., Aparecido Rinaldo, M., Santiago, P. R. P., Cunha, S. A., & Moura, F. A. (2019). Dribbling speed along curved paths

- predicts attacking performance in match-realistic one vs. one soccer games. *Journal of Sports Sciences*, 37(9), 1072–1079. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1544110>
- Young, W. B., James, R., & Montgomery, I. (2002). Is muscle power related to running speed with changes of direction? *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42(3), 282–288.
- Young, W., Rayner, R., & Talpey, S. (2021). It's Time to Change Direction on Agility Research: a Call to Action. *Sports Medicine - Open*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-021-00304-y>
- Young, W., & Rogers, N. (2014). Effects of small-sided game and change-of-direction training on reactive agility and change-of-direction speed. *Journal of Sports Sciences*, 32(4), 307–314. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.823230>
- Young, Warren B., Dawson, B., & Henry, G. (2015). Agility and Change of Direction Speed are Independent Skills: Implications for Agility Invasion Sports. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 10(1), 159–169. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.5.4.571>
- Young, Warren B., Dos'Santos, T., Harper, D., Jeffreys, I., & Talpey, S. (2022). Agility in Invasion Sports: Position Stand of the IUSCA. *International Journal of Strength and Conditioning*, 2(1).
- Young, Warren B., Farrow, D., Pyne, D., McGregor, W., & Handke, T. (2011). *Validity and Reliability of Agility Tests in Junior Australian Football Players*. 25(12), 3399–3403.

- Young, Warren B., Miller, I. R., & Talpey, S. W. (2015). Physical Qualities Predict Change of Direction Speed but not Defensive Agility in Australian Rules Football. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(1), 206–212.
- Young, Warren B., & Murray, M. P. (2017). Reliability of a Field Test of Defending and Attacking Agility in Australian Football and Relationships to Reactive Strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(2), 509–516.
- Zeljko, I., Gilic, B., & Sekulic, D. (2020). Validity, Reliability and Correlates of Futsal-Specific Pre-Planned and Non-Planned Agility Testing Protocols. *Kinesiologia Slovenica*, 26(2), 25–34.





inefc  
Barcelona



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

