

CORRELACIÓ DELS CANVIS BIOMECÀNICS I LES LESIONS MÉS FREQUENTS DEL TREN INFERIOR EN EL TRIATLÓ

TREBALL FI DE GRAU

Autor del treball: Idoia Pascalet Plaja

Tutor: Baldiri Prats Climent

Grau en Podologia

4 de Juny del 2015

INDEX

INDEX	2
INDEX DE FIGURES	4
INDEX DE TAULES	4
INDEX DE GRÀFICS	4
1. RESUM I PARAULES CLAU	5
ABSTRACT AND KEY WORDS	5
2. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS	6
3. MARC TEÓRIC	7
3.1. EL TRIATLÓ	7
3.2. BIOMECÀNICA	9
3.2.1. Biomecànica de la natació	9
3.2.1.1. <i>Anàlisi biomecànic de la natació: batuda de peus</i>	<i>10</i>
3.2.1.2 <i>El peu del nadador</i>	<i>11</i>
3.2.2. Biomecànica del ciclisme	12
3.2.2.1 <i>Anàlisi biomecànic del ciclista</i>	<i>12</i>
3.2.2.2 <i>El peu del ciclista</i>	<i>13</i>
3.2.3. Biomecànica de la carrera a peu	15
3.2.3.1 <i>Anàlisi biomecànic de la carrera a peu</i>	<i>15</i>
3.3. CANVIS BIOMECÀNICS PRODUÏTS PER LA REALITZACIÓ DELS TRES ESPORTS CONSECUTIUS	20
3.4. LESIONS FREQUËNTS EN EL TRIATLÓ	26
3.4.1. Tendinitis rotuliana	26
3.4.1.1. <i>Anatomia i funcions del tendó rotulià</i>	<i>26</i>
3.4.1.2. <i>Tendinitis rotuliana</i>	<i>26</i>
3.4.1.3. <i>Mecanisme de la producció de lesió</i>	<i>27</i>
3.4.2. Tendinitis aquília	27

3.4.2.1. Anatomia i funcions del tendó d'Aquil·les	27
3.4.2.2. Tendinitis Aquília.....	27
3.4.2.3. Mecanisme de la producció de lesió	27
3.4.3. Fascitis plantar	28
3.4.3.1. Anatomia i funcions de la fàscia plantar.....	28
3.4.3.2. Fascitis Plantar.....	28
3.4.3.3. Mecanisme de la producció de lesió	28
3.4.4. Periostitis tibial	29
3.4.4.1. Anatomia i funcions.....	29
3.4.4.2. Periostitis Tibial	29
3.4.4.3. Mecanisme de la producció de lesió	29
3.4.5. Síndrome cintilla iliotibial	29
3.4.5.1. Anatomia i funcions de la cintilla iliotibial	29
3.4.5.2. Síndrome cintilla iliotibial	30
3.4.5.3. Mecanisme de la producció de lesió	30
4. CORRELACIÓ DELS CANVIS BIOMECÀNICS QUE ES PRODUEIXEN EN EL TRIATLÓ AMB LES LESIONS MÉS FREQUENTS DEL TRIATLÓ.....	31
5. MATERIAL I MÈTODES	33
6. RESULTATS	35
7. DISCUSIÓ	36
8. CONCLUSIONS	39
9. BIBLIOGRAFIA.....	40
10. AGRAÏMENTS.....	43

INDEX DE FIGURES

Figura 3.3.1.	22
Figura 3.3.2.	23

INDEX DE TAULES

Taula 3.3.2.	8
Taula 3.3.1.	24
Taula 7.1.	38

INDEX DE GRÀFICS

Gràfic 6.1.	35
------------------	----

1. RESUM

El propòsit d'aquest treball és descriure la biomecànica i els canvis biomecànics de la extremitat inferior en el triatló olímpic i correlacionar-ho amb les lesions més freqüents dels triatletes en l'extremitat inferior. Per la seva realització s'ha fet una recerca bibliogràfica dels últims 20 anys sobre el triatló i la seva biomecànica.

Per tal de complementar el treball s'ha realitzat una enquesta per a triatletes, on un cop analitzats els resultats es demostra que les lesions més freqüents són les trobades també en la bibliografia, que la majoria de lesions apareixen en la disciplina de la carrera a peu i que la majoria de triatletes consulten al podòleg quan la lesió afecta al peu, i en pocs casos quan afecta a la resta de l'extremitat.

PARAULES CLAU

Triatló, biomecànica, lesions, transicions, podologia esportiva.

ABSTRACT

The purpose of this work is to describe the biomechanic and the biomechanics's changes of the inferior extremity of the olimpic triathlon and correlate it with the most frequent injuries of the inferior extremity. For his realisation has done a bibliographic research of the last 20 years on the triathlon and his biomechanics.

In order to complement the work, we have realised a survey to triathletes, where shows that the most frequent injuries are agree about bibliography and the most of triatlethes only consult to podiatrist when the injury affects to the foot, and in a few cases when affects to the rest of the extremity.

KEY WORDS

Triathlon, biomechanic, injuries, transitions, sport podiatry.

2. INTRODUCCIÓ

Aquest treball s'ha realitzat dins del marc de l'assignatura de treball de fi de grau. He decidit realitzar aquest treball per diversos motius. En primer lloc, la meua passió per l'esport i tot el que l'envolta. En segon lloc, la meua afinitat amb la podologia esportiva, la capacitat que tenim els podòlegs d'ajudar tant en el rendiment com en la salut dels esportistes i per últim, la meua afició al triatló.

L'esport del triatló ha anat augmentant tant en importància com en popularitat en els últims anys, sobretot des de que és un esport olímpic. Aquest augment tant a nivell amateur com a nivell professional ha fet que les lesions dels triatletes també hagin augmentat.

Des de aquest punt he intentat relacionar el paper que pot tenir la podologia en el triatló.

OBJECTIUS

- Descriure els canvis biomecànics produïts per la realització consecutiva de les tres modalitats del triatló.
- Correlacionar els canvis biomecànics que es produeixen en les transicions amb les lesions més freqüents del triatló.
- Valorar, mitjançant enquestes, si el triatletes recorren a la podologia per tractar les seves lesions.

3. MARC TEÒRIC

3.1. EL TRIATLÓ

Història del triatló

Els esports multidisciplinaris, provenen dels grecs on reunien fins a 5 proves esportives per tal de demostrar la seva força, agilitat i destresa. Fins l'any 1904, en els jocs olímpics de de San Luis, no es va plasmar la idea de les proves combinades, és a dir, el decatló.

L'any 1920 apareix a França el triatló que es practicava de forma esporàdica a la vora dels rius. La primera 'carrera dels tres esports es realitzà a La Rochelle l'any 1934 amb una alta participació d'esportistes.

No es fins 40 anys després, quan a l'any 1975 s'organitzà el primer triatló a estats units a San Diego, era el primer cop que es denominava triatló a aquest esport. En els jocs olímpics de Sydney 2000, es va introduir per primer cop el triatló.¹

L'esport del triatló

El triatló és un esport individual, combinat i de resistència que consta de tres parts: natació, ciclisme i carrera a peu. El pas d'una a una altra es denomina transició, i, com és lògic, com menys temps es perdi en cadascuna, millor. L'ordre és l'assenyalat i el cronòmetre no es para durant les transicions que componen el conjunt de la competició. El guanyador és l'esportista que menys temps inverteix després de la suma dels tres segments.

Les distàncies de cada segment varien segons el tipus de prova (Figura 1). Les competicions del triatló tenen distàncies en comú amb les competicions de natació, ciclisme i atletisme.

Prova	Natació	Ciclisme	Carrera a peu
Ironman	3,8	180	42
Half Ironman	1,9	90	21
Doble Olímpic	3	80	20
Olímpic	1,5	40	10
Sprint	0,75	20	5

Taula 3.1.1: Distàncies (km) dels segments de cada tipus de triatló.

Des de la distància més curta fins a la de major durada, la durada relativa de cada segment representa: un 18% a 10% en la natació, un 52% a 56% en el ciclisme i un 30% a 34% en la carrera a peu.

Aquest treball està enfocat en el triatló de distància olímpica.

El triatló de distància olímpica

1,5 km de natació

40 km de ciclisme

10 km de carrera a peu

Va ser el format escollit per a les olimpíades, amb un total de 51,5 km. Encara que les distàncies no són tan impressionants en comparació al format de Ironman, en el triatló olímpic l'esportista ha d'aconseguir el màxim nivell en un breu espai de temps, ja que normalment té una duració de 1h 45min.¹

3.2. BIOMECÀNICA

La biomecànica té per objectiu estudiar els efectes de l'energia i les forces dels sistemes biològics mitjançant l'aplicació de les lleis de Newton sobre la mecànica a éssers vius. Dins de la mecànica del moviment podem descriure el mateix independentment de les sol·licitacions mecàniques que s'originen des d'ell (cinemàtica) o dependentment d'elles (cinètica).²

L'anàlisi d'un moviment sol fer-se a nivell de les diferents articulacions, estudiant cadascuna per separat, però el problema és més complex, ja que s'enllacen formant cadenes cinètiques.

Es distingeixen dos tipus de cadenes cinètiques, obertes i tancades. En les cadenes obertes, l'últim element de la mateixa és lliure (ex: xut de futbol). En les cadenes tancades l'últim element és fix (ex: pedaleig) o troba una forta resistència que inhibeix el moviment lliure (ex: halterofília).

3.2.1. Biomecànica de la natació

La natació en el triatló es mostra diferent a la natació de piscina. Això és a degut a que es realitza en aigües obertes i no en un mitjà tancat com és la piscina. Això fa que la natació en aigües obertes depengui també de factors climatològics, a més dels organitzatius. A més, el fet que sigui en aigües obertes es permet l'ús de neoprè quan la temperatura de l'aigua oscil·la els 16°C-20°C i és obligat quan la temperatura oscil·la els 13°-16°C i també es permet realitzar drafting.

El drafting consisteix a nedar a una distància de 14 a 80 cm d'un altre nedador. S'han dut a terme nombrosos estudis sobre el tema, comunicant en tots ells nombrosos avantatges per al rendiment, però falta per esclarir quin és la distància òptima de drafting.³

En el mitjà aquàtic, la propulsió està basada principalment en la força d'arrossegament (acció-reacció) i la força de sustentació o elevació.

L'avantbraç genera majors forces propulsives que la mà. Els peus generen també propulsió, però principalment permeten equilibrar la posició del cos del triatleta i que es trobi més prop de la superfície de l'aigua.⁴

En la natació tant el tren inferior com el tren superior generen forces de propulsió. En aquest treball, per tal de focalitzar en l'objectiu del treball, he decidit explicar només la propulsió del tren inferior.

3.2.1.1. Anàlisi biomecànic de la natació: batuda de peus

La batuda de crol suposa realitzar accions de batuda o puntada de peus alternatives. Cada puntada és una cadena cinètica que parteix del maluc i es transmet de forma accelerada fins a la punta del peu. Els peus són el final de la cadena i es mantenen flexibles i naturals. En triatló, en tenir el segment de natació una distància de 1500 metres, s'utilitzarà predominantment una batuda de 2-4 temps, procurant no gastar excessivament energies amb la batuda de peus. Com ja hem comentat, l'ús de neoprè tendeix a disminuir el treball dels peus. En cada batuda s'observen dues parts:

a) Batuda descendent: Es flexiona el maluc, descendeix la cuixa i el genoll es flexiona perquè el peu acabi d'ascendir fins a la superfície. A continuació es produeix l'extensió enèrgica de la cama, mentre la cuixa comença ascendir novament. El peu es col·loca en extensió plantar i rotació interna.

Quan el taló s'apropa a la superfície comença la flexió del maluc, obligant a la cuixa a descendir. El genoll es flexiona passivament per la pressió de l'aigua.

La mateixa pressió de l'aigua col·loca els peus màxima flexió plantar i els dits en flexió.

La màxima profunditat s'aconsegueix a uns 30 cm alhora que es produeix una forta extensió del genoll.

La musculatura implicada en la propulsió en aquesta fase són principalment quàdriceps per la extensió del genoll i flexió del maluc, psoas ilíac per a l'extensió de maluc, tibial anterior i tríceps sural per als canvis en la flexió dorsal/plantar del peu, i la musculatura intrínseca del peu.

Hi ha més musculatura implicada en menor importància, que també col·laboren en l'acció; Sartori, recte intern (flexió de la cama), adductors i pectini (adducció de la cama), i tibial posterior (flexió plantar del peu).

b) Batuda ascendent: La cama s'eleva en extensió fins a la posició horitzontal per mitjà de l'extensió del maluc. El peu estarà relaxat.

S'inicia per inèrcia i extensió del maluc i genoll, la cuixa realitza un moviment ascendent, però alhora que la part inferior de la cama acaba la batuda cap avall.

El turmell i els peus han d'estar distesos amb lleugera flexió dorsal.

Aquesta fase finalitza quan el peu s'apropa a la superfície.

La musculatura implicada en la propulsió en aquesta fase son principalment són els isquiotibials per la extensió i rotació del genoll, el gluti major per la extensió del maluc, el tibial anterior i tríceps sural per als canvis en la flexió dorsal/plantar del peu i la musculatura intrínseca del peu. A més a més, igual que en l'anterior fase, trobem altre musculatura implicada en menor importància però que també col·laboren en l'acció; Recte intern. (flexió de la cama), adductors. (adducció de la cama).⁵

3.2.1.2. El peu del nadador

Els peus hauran de romandre en extensió, solts i relaxats. És important aconseguir una bona flexibilitat del turmell. Les puntes dels peus es mantenen lleugerament endins (rotació interna de maluc) i propers, mentre els talons romandran separats. El peu contínuament realitzarà el moviment de màxima flexió plantar a lleugera flexió dorsal.⁶

3.2.2. Biomecànica del ciclisme

En el ciclisme parlem de cadena cinètica tancada. Observem durant la flexió un agrupament progressiu de segments i durant l'extensió el fenomen invers. S'observa un moviment angular realitzat primer en un sentit, i en l'altre de tipus pendular de tal forma que aquesta segona fase és una volta a la posició inicial. D'aquesta forma cada segment mobilitzat descriu un angle positiu, i un negatiu de mateix valor, de tal forma que a cada centre articular s'obté una suma de moments angulars igual a zero.

Els dos extrems fixos de la cadena cinètica es troben a nivell del suport del selló i dels suports en els pedals. Les "cales" actuals eviten la pèrdua de força en certs punts del pedaleig, ja que el peu va ancorat al pedal.^{7,8}

3.2.2.1. Anàlisi biomecànic del ciclista

El moviment del pedaleig ha estat estudiat exhaustivament per Haushalter i Lang (1985).⁹

Aquests autors distingeixen 4 fases en el pedaleig:

- Fase I: Va de 20° a 145° en relació amb la vertical que passa per l'eix de pedalier (0° la seva part més superior, 180° la seva part inferior). Durant aquesta fase el peu s'estén 30° sobre la cama, la cama s'estira 70°, la cuixa s'estira en una amplitud de 44°. L'extensió de la cadera es deu al gluti major, al tensor de la fàscia lata i als isquiotibials. L'extensió de genoll es produeix gràcies al quàdriceps i l'extensió del peu es realitza mitjançant el tríceps sural, sobretot, i també amb la col·laboració dels músculs plantar-flexors del peu. Els músculs intrínsecs del peu no tenen un efecte cinètic aparent.
- Fase II: Va de 145° a 215°. És una fase d'inversió en la qual es passa de completar l'extensió del membre inferior a començar la seva flexió. És convenient dividir-la en dues parts:
De 145° a 180°. En aquesta fase el membre inferior s'estén gràcies a una obertura del turmell de 15°. Aquest moviment és realitzat gràcies al soli, múscul monoarticular, la contracció del qual és independent de la posició del genoll. No és essencial en aquesta fase l'acció dels bessons ja que,

en ser biarticulats, la seva màxima potència depèn de la posició del genoll, i no és màxima més que quan la cama es troba en completa extensió. Durant aquesta fase, l'extensió del genoll és mínima, 2°.

De 180° a 215°. L'orientació del peu roman similar a la de la fase precedent (de 145° a 180°). S'observa una flexió activa del membre inferior: la cama es flexiona de 150° a 135° sobre el peu, el genoll es flexiona de 150° a 125° sobre la cuixa, i aquest s'apropa 5° a l'horitzontal.

- Fase III: És la fase oposada a la fase I. Van dels 215° als 325°. En aquesta fase el peu es flexiona tancant-se 15°, el genoll es flexiona 55° i el maluc també flexiona en una amplitud de 35°. Els músculs que actuen en aquesta fase són poc potents, havent de lluitar contra la gravetat. La flexió de la cadera es realitza mitjançant el psoas-iliac, el recte anterior i el sartori. El genoll es flexiona gràcies als músculs de la cara posterior de la cuixa: músculs de la pota d'anec, poplíte i bíceps femoral. La flexió del peu es realitza mitjançant potents músculs biarticulats: tibial anterior, extensor comú dels dits i extensor propi del hallux. La lleugera extensió del avantpeu es deu als músculs intrínsecs del peu.
- Fase IV: Va dels 325° als 20°, on començaria seguidament la fase I. Els moviments en aquesta fase són complexos i difícils d'esquematzar. En el començament d'aquesta fase el peu es troba estès a 140°, després es flexiona brutalment fins als 105°; en contraposició, l'amplitud de moviments del genoll i del maluc és mínima.

3.2.2.2. *El peu del ciclista*

La posició del peu sobre el pedal estarà condicionat a l'obtenció del millor rendiment de la pedalada i a la prevenció de lesions que puguin ocórrer per una desviació interna o externa del peu.

Una mala posició del peu que secundàriament pot provocar molèsties, les més freqüents a nivell dels tendons de la pota d'anec o del bíceps femoral.

Per no malgastar energia amb moviments paràsits i inútils la sabatilla del

ciclista va fermament subjecta al pedal mitjançant un tac i gràcies a la corretja de la cala. Les sabatilles velles de ciclisme eren completament planes en el que a la seva sola es refereix, sent aquesta més flexible, de tal forma que permetia el joc de les articulacions del peu, és a dir les metatarso-falàngiques, chopart i lisfranc. Amb el calçat actual, s'observa que tant l'arc intern del peu com l'extern modifiquen la seva orientació espacial a causa de l'elevació del calcani. S'observa llavors que els grups lligamentosos calcani-escafoide inferior i calcani-cuboide ajudats per les terminacions tendinoses dels músculs intrínsecs i extrínsecs del peu, treballen en una amplitud que és similar a la fisiològica del subjecte estant dempeus. D'aquesta forma, tenint la sabatilla una sola rígida, les característiques de la volta plantar són respectades.¹⁰

3.2.3. Biomecànica de la carrera a peu

El cicle de la marxa és la referència bàsica en la descripció de la locomoció humana. Un cicle és el període de temps comprès entre dos contactes del mateix taló, comença quan el taló contacta amb el sòl i finalitza al moment en el qual el mateix taló contacta en el pas següent.

3.2.3.1. Anàlisi biomecànic de la carrera a peu

Durant el cicle de marxa complet, cada cama passa per:

- Una fase de suport (60%), durant la qual el peu es troba en contacte amb el sòl. Aquesta fase comença amb el contacte inicial amb el taló i finalitza amb l'enlairament de l'avantpeu.
- Una fase d'oscil·lació (40%), en el qual el peu es troba a l'aire, com a preparació per al següent contacte de taló. Aquesta fase transcorre des de l'instant d'enlairament de l'avantpeu fins al següent contacte amb el sòl.¹¹

Quan caminem sempre hi ha un peu en contacte amb el sòl, mentre que en la carrera de velocitat hi ha un moment en el qual tots dos peus es troben en l'aire.

Fase de suport

1. Període de contacte

Comença amb el suport del taló i finalitza amb el suport complet de l'avantpeu, en aquest moment el maluc està lleugerament flexionat, el genoll gairebé en completa extensió i el peu invertit cap a la seva cara externa, havent de suportar d'una banda el pes del nostre cos multiplicat per 2 a 5 vegades i per un altre la força reactiva del sòl sobre l'os calcani, que es capaç de suportar gràcies a la disposició de les seves trabècules òssies.

Les musculatura anterior de la cama, principalment el múscul tibial anterior, haurà de realitzar una contracció excèntrica per alentir i esmorteir la caiguda del peu sobre el sòl, ressaltant el paper de l'os astràgal com a repartidor de pressions cap als ossos del migpeu que es troben per davant d'ell, navicular, cuboides i les tres cunyes.

Durant tot el període de contacte l'articulació del turmell anirà virant cap a la pronació amb la finalitat d'absorbir el xoc i adaptar-se el més eficaçment possible al terreny. Aquest amortiment la realitza l'os astràgal combinant els moviments de adducció i flexió plantar.

Aquesta és una consideració extremadament important si tenim en compte que un corredor realitza aproximadament 10.000 impactes per cada 10 Km recorreguts, absorbint més d'1.000 tones de pressió.

Per tant, serà de vital el fet de normalitzar qualsevol desalineació o dissimetria, ja que això produirà un estrès al llarg de tot l'aparell locomotor, cama, pelvis i columna vertebral.

Aquest moviment del turmell cap a la pronació, arrossega a la Tíbia i al Genoll cap a rotació interna i la flexió d'aquesta última que al seu torn provocarà un desplaçament de la pelvis endavant, augmentant al seu torn la curvatura de la columna lumbar (hiperlordosis). La flexió del genoll afavoreix la contracció del múscul del quàdriceps que intervé en l'ajuda per esmorteir l'impacte.

D'altra banda el descens de l'arc del peu durant el suport sobre el sòl afavoreix un mecanisme de retorn d'energia principalment en la musculatura de la planta del peu que serà alliberada més tard de forma elàstica per fer més eficaç la carrera. En iniciar-se el contacte del taló sobre el sòl l'avantpeu es troba supinat, però a mesura que va avançant-se el moment de suport aquest tendeix a la pronació per acabar la fase d'enlairament pel 1º dit.

La força amb la qual impactem en el sòl, es veu esmorteïda per les característiques elàstiques dels músculs i tendons tant del peu, com de la resta de la cama.

2. Període de suport complet

Comença amb el suport complet de l'avantpeu i finalitza quan s'aixeca el taló. Durant aquest període el peu passa de ser un adaptador mòbil en el període de contacte, per absorbir l'impacte, a una palanca rígida necessària per a la propulsió o enlairament del sòl. Aquest treball es veu afavorit per l'impuls que exerceix cap a davant l'altra cama, afavorida pel treball dels músculs adductors.

Perquè es produeixi el canvi de suport des de taló a avantpeu és necessari el bloqueig dels ossos del migpeu i per a això és necessària una forta contracció dels músculs i lligaments implicats en aquesta tasca, principalment la musculatura de la plantar del peu.

3. Període propulsiu

Comença al moment en el qual el taló s'aixeca i acaba en l'enlairament digital, encara que són moltes les accions responsables de produir l'enlairament del taló, el principal múscul implicat en aquesta acció serà el solí i el bessó. La fàscia plantar fixarà els metatarsians i dits contra el sòl en un intent de tractar d'agarrar-se al mateix. Els músculs peronés situats en la cara lateral externa del peu actuen com estabilitzadors igual que el tibial posterior que discorre per la cara interna. L'enlairament en condicions normals es produirà pel 1º metatarsià que té el doble de grossor que la resta i 4 vegades més força per escometre aquest complicat treball, ajudat per els sesamoides.

Fase de balanceig o vol

Comença en l'enlairament dels dits i acaba en el contacte de taló. La funció primordial del peu i el turmell durant aquesta fase és la de permetre la suficient flexió dorsal de l'avantpeu per superar el sòl i col·locar les articulacions per esmorteir de forma més efectiva les forces d'impacte en el següent contacte del taló.

El control neuromotor del moviment en la fase de balanceig és instintiu mentre que durant la fase de suport és el resultat de l'aprenentatge.

La superació del sòl per part de l'avantpeu es produeix per la contracció del múscul que flexiona el genoll i el maluc i per la contracció concèntrica de la musculatura del compartiment anterior de la cama, extensor dels dits, peroné curt i tibial anterior.

En la carrera de velocitat els músculs bessó, solí, vast lateral i gluti major entre uns altres, es tornen hiperactius en un esforç per esmorteir més eficaçment en percebre l'augment de les forces reactives del sòl.

Quan correm l'objectiu principal és anar el més ràpid possible sense cansar-nos, d'aquesta manera no haver de reduir el nostre ritme de carrera, i intentar córrer el més veloç possible gastant el mínim d'energia. A aquests dos objectius es denominen economia de la carrera i depèn en gran part de la tècnica de carrera utilitzada pel corredor.¹²

En un dels esports en el qual més influeix la tècnica de carrera és en el triatló, ja que es comença a córrer en un estat de fatiga provocat prèviament per el ciclisme i natació i per tant, l'atleta ha de posseir el tipus de carrera més econòmica possible. Aquesta tècnica de carrera ha d'estar orientada en tot moment a evitar les lesions ja aquestes solen produir-se per un moviment mal executat i repetit diverses vegades fins a conduir a la lesió.¹³

La biomecànica explicada anteriorment es pot veure modificada en esportistes d'alt nivell o elit, ja que en la fase de suport només realitzen contacte de l'avantpeu, per tant en cap moment hi ha contacte de taló i contacte total del peu. D'aquesta manera redueixen la fase de frenada i el temps de contacte del peu amb el sòl. En la actualitat, a conseqüència de la professionalització del triatló, cada vegada és més freqüent veure aquest tipus de tècnica de carrera entre els triatletes amateurs. Per tant la biomecànica d'aquets corredors quedaria de la següent manera:

Fase de suport

-Període de contacte

Quan el peu contacte amb sòl, el primer que recolza és el metatars per la seva part externa, al mateix temps es flexiona el genoll oposat i avança flexionant-se gairebé per complet, sobrepassant la cama de suport, continuant el moviment al capdavant fins que comença la fase propulsiva.

-Període propulsiu:

És la fase més important en la carrera, perquè la velocitat i la propulsió generades depenen de la intensitat i de la direcció de les forces d'impuls. Quan el centre de gravetat sobrepassa la vertical les articulacions del peu, genoll i malucs aquestes s'estenen, provocant que el maluc es projecti cap a endavant. Mentre la cama lliure es troba elevada i flexionada, provocant un tàndem de

forces , coincidint la màxima extensió de la cama impulsora amb la major elevació de la cuixa de la cama lliure. El peu de la cama lliure es troba en flexió dorsal, mentre que el del sòl en abandonar-ho ho fa per la part interna del metatars. Quan el peu d'impuls deixa el sòl, la cama s'eleva flexionant-se, mentre que l'oposada perd tensió, produint que s'obri l'angle del genoll i descendint lentament la cuixa (inici de la fase de suspensió o vol)

Fase de balanceig o vol:

La fase de vol és la que segueix a la fase propulsiva i la que es perd velocitat. El peu d'impuls s'eleva per darrere, mentre que l'altra cama s'obre al capdavant començant el seu descens amb una tracció activa cap al sòl, una extremitat contrària l'altra. Tot aquest cicle pot considerar-se com de relaxació durant el vol i constitueix el desplaçament.¹²

3.3. CANVIS BIOMECÀNICS PRODUÏTS PER LA REALITZACIÓ DELS TRES ESPORTS CONSECUTIUS

Són molts els treballs que estudien la influència de la natació i sobretot el ciclisme, sobre la carrera a peu, uns centrats en el component fisiològic i altres analitzant els paràmetres biomecànics. En aquest cas ens centrarem en aquells treballs i resultats a nivell biomecànic.

Hausswirth al 1997¹⁴ va trobar que es produeix una disminució en la longitud de pas, menor angulació del genoll en la fase aèria i menor extensió del genoll en la fase de suport. Van trobar una major inclinació del tronc cap a davant, associada a aquest efecte residual de la posició adoptada en ciclisme i fatiga dels músculs posturals. A causa d'aquesta posició es produeix fatiga dels músculs del tren inferior, que fa augmentar la seva rigidesa, sobretot del quàdriceps, la qual cosa és responsable d'una carrera més pendular al principi, a causa de la falta de relaxació del quàdriceps. Aquesta situació va canviant conforme va avançant la carrera, produint-se l'adaptació al gest.

Els possibles efectes biomecànics i cardiorespiratoris en la carrera a peu posterior en un triatló provocats pel segment de ciclisme van ser estudiats per Hue al 1998¹⁵. Per a això es van comparar els resultats obtinguts en realitzar una carrera a peu de 10 km després d'haver realitzat 40 km de ciclisme amb una carrera a peu de 10km. No obstant això les variables biomecàniques (freqüència i longitud de gambada) no es van veure modificades en la carrera després del ciclisme en comparació de la carrera sola.

D'altra banda, Millet i Vleck (2000)¹⁶ van trobar una asimetria de pas i un augment en el moviment d'oscil·lació del maluc després del segment ciclista. Aquests mateixos autors destaquen que la carrera a peu es caracteritza per una pèrdua d'eficiència mecànica que depèn directament del nivell del triatleta.

Gottschall J.S. i Palmer B.M. (2000)¹⁷ van estudiar els efectes del ciclisme en la longitud i freqüència de pas en la carrera a peu posterior. Els resultats van assenyalar que va disminuir la longitud i augmenta la freqüència de pas i que progressivament augmenta la longitud i disminueix la freqüència per igualar-

se a una situació en la qual no s'hagués realitzat prèviament el ciclisme, incrementant-se progressivament l'economia de carrera.

Heiden & Burnett (2003) ¹⁸ van determinar l'efecte del ciclisme en l'activitat electromiogràfica de diversos músculs de les cames (vast lateral i medial i bíceps femoral) en una carrera a peu posterior. Per a això els subjectes d'estudi (10 triatletes d'elit) van realitzar 40 km de ciclisme seguits de 2 km de carrera a peu i 10 km de carrera a peu seguits d'altres 2 km de carrera a peu. Es va realitzar el mesurament electromiogràfic en el quilòmetre 0, 1 i 2 de la carrera a peu de 2 km. Es van observar canvis en el nivell d'activació del vast medial durant la fase de vol entre els tres mesuraments de la carrera a peu. També es van trobar diferències en la durada de l'activació del vast lateral durant els 2 km de carrera a peu. Els resultats obtinguts en aquest estudi mostren com es produeixen grans canvis en la funció muscular quan es canvia del pedaleig en la bicicleta a córrer a peu, això indica la necessitat d'un entrenament específic de les transicions de ciclisme a carrera a peu. Aquest entrenament podria millorar el rendiment i reduir el risc de lesió dels triatletes .

Tots els estudis realitzats fins el moment sobre aquests paràmetres biomecànics dels triatletes, han estat recerques on se simulaven situacions de competició dins del laboratori, en els quals la motivació de l'esportista i les circumstàncies del mitjà i l'entorn no són les mateixes que les de la pròpia competició, per la qual cosa els resultats en molts casos no són del tot fiables.

D'aquesta forma Vleck al 2006 ¹⁹ va estudiar les conseqüències del rendiment en natació, ciclisme i carrera a peu en el resultat global d'un triatló de distància olímpica amb drafting. Després de l'estudi van arribar a la conclusió que un menor rendiment en la prova de natació pot portar a un major treball del triatleta en les fases inicials del ciclisme en un triatló olímpic de categoria elit.

Els treballs de Cales A. (2009) i Cales A. i col (2010), han estat els primers realitzats en situació real de competició amb l'objectiu de conèixer el perfil de rendiment tècnic del sector de carrera a peu durant una competició de triatló.

La primera recerca de Cales A. al 2009²⁰ es va realitzar amb una mostra de 64 triatletes, dividits per sexes i per nivells de rendiment (32 participants de la Copa del Món i altres 32 triatletes participants en una prova classificatòria del Campionat d'Espanya elit), utilitzant una filmació de 4 trams de carrera (corresponent un a cada volta) i analitzant als triatletes mitjançant un sistema de fotogrames de 2D, estudiant les distàncies, angles i oscil·lacions sobre el pla sagital en quatre moments del cicle de carrera, tal com es veu en la **figura 1**. Les variables que es van estudiar van ser la velocitat, la freqüència de gambada, longitud de gambada, el temps de suport, el temps de vol, l'oscil·lació vertical del maluc, la distància horitzontal del maluc al suport (paràmetre tècnic definit com la distància entre la projecció vertical del maluc i la posició de la capdavantera en aterrar el peu), els angles de turmell en l'enlairament tant de la cama recolzada com de la cama lliure i angles del genoll durant l'enlairament d'ambdues cames (Figura 2).

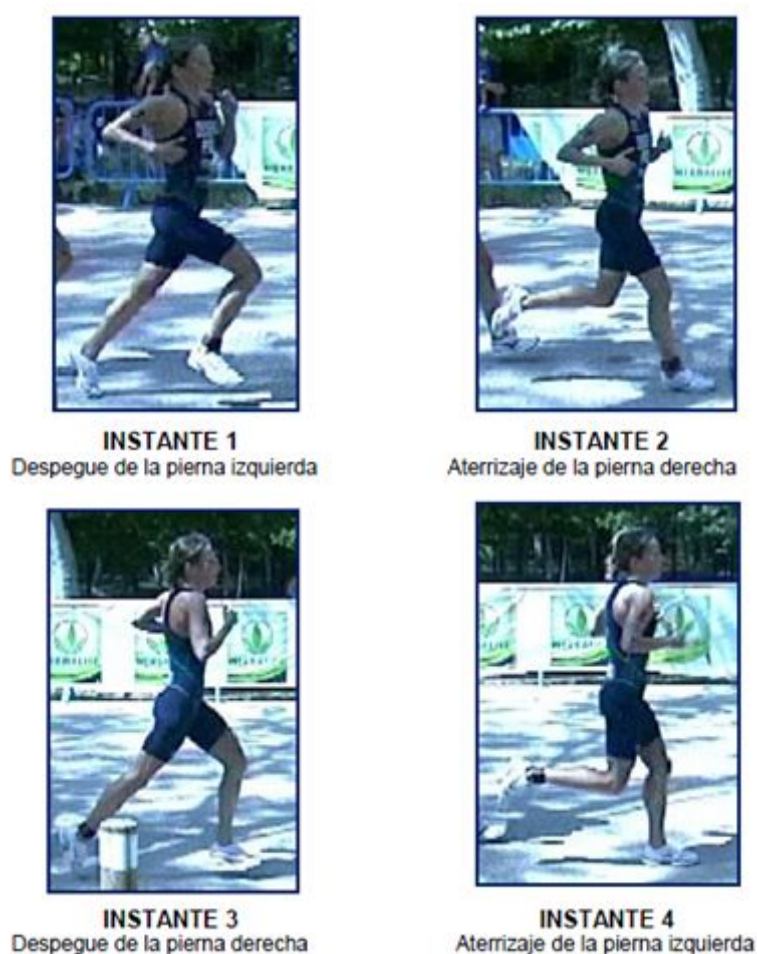


Figura 3.3.1. Instants de la carrera analitzats (Extret de Cala, 2009)

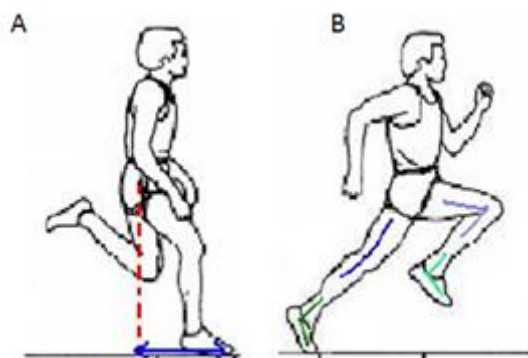


Figura 3.3.2. (A) Distància horitzontal del maluc al recolzament. (B) Angles de turmell i genoll analitzats (Extret de Cala, 2009)

Un cop analitzats els resultats, l'autor conclou que la biomecànica de la carrera a peu no es veu afectada pel ciclisme i la natació en triatletes d'elit, però sí afecta als triatletes de menor nivell. Respecte a les variables estudiades esmentades anteriorment, es va observar que moltes d'aquestes van romandre més constants durant els 10 quilòmetres de carrera en el grup internacional masculí que en la resta. Així es poden ressaltar els següents punts:

1. La freqüència de gambada va presentar valors més alts en els primers 2.5 km, sent els triatletes d'elit els que presenten majors valors. Aquesta dada sobre l'increment de gambada coincideix amb els resultats obtinguts per Gottschall J.S. i Palmer B.M (2000)¹⁷, anteriorment esmentats.
2. Els valors majors de la longitud de gambada van anar descendint al llarg de la carrera a causa de la fatiga acumulada en els esportistes internacionals. Els esportistes de nivell nacional i les noies van mostrar majors valors en la segona volta de les quatre que es van analitzar, la qual cosa segons l'autor es deu tant a la fatiga com a la incidència del ciclisme.
3. Els nois aconsegueixen una major velocitat gràcies a la major longitud de gambada en relació a les noies, que mostren valors majors de freqüència de gambada.
4. Els temps de vol van ser constants al llarg de la carrera, mentre que els temps de suport més baixos es van trobar en la primera volta. Els triatletes internacionals van obtenir valors més baixos en aquest paràmetre i més constants amb el transcurs dels quilòmetres que els triatletes de nivell nacional.
5. L'oscil·lació del maluc es va mostrar constant en els triatletes

internacionals i amb tendències a l'augment en els de menor nivell.

6. Existeix una alta correlació entre la velocitat de carrera i l'angle del genoll lliure al moment d'enlairament.

7. No es va veure cap tendència clara en els angles de turmells mesurats.

El segon article al que hem fet referència Cala A., et al.²¹, també es va realitzar basant-se en una competició d'alt nivell (Copa del Món de Triatló a Madrid, 2008) i l'objectiu de l'estudi va ser examinar les diferents respostes del sector de ciclisme previ a la carrera respecte a la medalla d'or i la resta de participants, i realitzar una comparació dels perfils biomecànics dels millors triatletes d'elit, estudiant les mateixes variables que s'han citat en l'article anterior.

Segons l'estudi, el vencedor de la prova va mostrar diferències significatives amb la resta dels participants en determinades variables: longitud de gambada major (3.41 \pm 0.08 metres respecte a 3.12 \pm 0.12 metres de mitjana de tots els triatletes analitzats), major angle de la cama de suport, major i constant distància horitzontal entre el maluc i la capdavantera, i una freqüència de gambada menor. El temps de suport i temps de vol van mostrar diferències significatives respecte a menys participants.

POSITION	SUPPORT TIME (seconds)	SUPPORT TIME (percentage)	FLIGHT TIME (seconds)	FLIGHT TIME (percentage)	KNEE ANGLE NON-SUPPORT LEG (degrees)
GOLD MEDAL	0.46 \pm 0.02	68.66 \pm 1.43	0.21 \pm 0.01	31.34 \pm 1.43	104.80 \pm 3.55
2	0.41 \pm 0.01*	64.06 \pm 1.80*	0.23 \pm 0.01*	35.94 \pm 1.80*	105.95 \pm 6.04
3	0.44 \pm 0.01	66.93 \pm 1.31	0.22 \pm 0.01	33.07 \pm 1.31	101.79 \pm 3.44
4	0.45 \pm 0.01	70.31 \pm 1.80	0.19 \pm 0.01*	29.69 \pm 1.80	108.93 \pm 5.59
5	0.42 \pm 0.02*	63.62 \pm 0.90*	0.24 \pm 0.01*	36.38 \pm 0.90*	100.12 \pm 8.08
6	0.45 \pm 0.03	71.44 \pm 3.32	0.18 \pm 0.02*	28.56 \pm 3.32	113.51 \pm 7.85
7	0.44 \pm 0.01	68.75 \pm 0.01	0.20 \pm 0.01	31.25 \pm 0.01	108.84 \pm 2.85
8	0.44 \pm 0.02	67.71 \pm 2.82	0.21 \pm 0.02	32.29 \pm 2.82	103.07 \pm 1.10
9	0.42 \pm 0.01*	64.35 \pm 1.55*	0.23 \pm 0.01*	35.65 \pm 1.55*	95.55 \pm 6.51*
10	0.47 \pm 0.02	67.37 \pm 1.83	0.23 \pm 0.01*	32.63 \pm 1.83	109.83 \pm 3.72

POSITION	10KM-RUN TIME (seconds)	STRIDE FREQUENCY (cycles/min)	STRIDE LENGTH (meters)	HORIZONTAL DISTANCE HIP-TOE CAP (meters)	KNEE ANGLE SUPPORT LEG (degrees)
GOLD MEDAL	2084	89.61 \pm 2.60	3.41 \pm 0.08	0.46 \pm 0.03	166.34 \pm 3.67
2	2111	93.75 \pm 0.25*	2.85 \pm 0.12*	0.36 \pm 0.02*	162.99 \pm 4.42
3	2129	92.33 \pm 1.64	3.14 \pm 0.15*	0.42 \pm 0.06	164.82 \pm 3.39
4	2135	93.75 \pm 0.32*	2.86 \pm 0.14*	0.40 \pm 0.03*	163.89 \pm 2.97
5	2149	90.95 \pm 0.19	3.40 \pm 0.09	0.42 \pm 0.01	159.32 \pm 2.78*
6	2150	95.36 \pm 1.46*	3.02 \pm 0.18*	0.39 \pm 0.04	159.81 \pm 6.03*
7	2167	93.75 \pm 1.64*	3.12 \pm 0.05*	0.41 \pm 0.03*	167.19 \pm 1.90
8	2172	92.33 \pm 2.25	3.15 \pm 0.11*	0.41 \pm 0.04	159.06 \pm 4.90*
9	2174	93.04 \pm 3.91	3.03 \pm 0.06*	0.36 \pm 0.06*	166.33 \pm 3.06
10	2186	86.97 \pm 1.42	3.12 \pm 0.07*	0.41 \pm 0.03	158.18 \pm 3.64*

Taula 3.3.1. Valors dels 10 primers triatletes analitzats de la Copa del Mundo de Triatlón Madrid 2008. (Les dades amb són diferències significatives ($p < 0$) respecte al vencedor de la prova) (Extret de Cala et al., 2010)

Observem, segons tots dos estudis, que els triatletes amb millors resultats responen de diferent manera als de menor nivell, referent al patró biomecànic de carrera. El rendiment del sector no respon exclusivament als paràmetres tècnics, però sí sembla existir correlació entre rendiment i aquests paràmetres, trobant-se diferències entre els perfils tècnics dels triatletes en funció del seu nivell.

3.4. LESIONS FREQUENTS EN EL TRIATLÓ

Degut a l'augment de la pràctica esportiva tant a nivell amateur com a nivell professional, com a conseqüència, hi ha un increment de lesions esportives.

Es considera lesió esportiva qualsevol accident que es produeix directa o indirectament a causa de la pràctica esportiva. Directament serien aquelles lesions que es manifesten en el mateix moment que es produeixen i indirectament, que apareixen després d'un cert temps com seria una tendinitis per repetició de microtraumatismes.

3.4.1. Tendinitis rotuliana

3.4.1.1. Anatomia i funcions del tendó rotulià:

El tendó rotulià, anomenat també tendó patel·lar, és la continuació del tendó del quàdriceps femoral en la part inferior de la ròtula. La seva inserció es a la tuberositat tibial, per tant aquest tendó uneix dos estructures òssies, ròtula i tibia.

Està format per teixit fibrós i presenta 6 mm de gruix, 30 mm d'amplada y 43 mm de llargada.

El tendó rotulià juntament amb el tendó del quàdriceps formen part de l' "aparell extensor del genoll", contribuint a la flexió i extensió activa del genoll, imprescindible per caminar o realitzar qualsevol activitat física.

3.4.1.2. Tendinitis rotuliana:

La tendinitis rotuliana és un procés inflamatori, degeneratiu (tendinosis) o trencament del propi tendó y el teixit que l'envolta. Aquesta lesió és molt dolorosa i en la majoria de casos limitant, obligant al esportista a fer repòs. El dolor el refereixen a la zona anterior del genoll, just a la vora inferior de la ròtula. La tendinitis pot presentar diferents graus:

Grau 1: Dolor només al acabar l'activitat física. Minva amb el repòs i no limita l'activitat.

Grau 2: Dolor durant i després de l'activitat física. El pacient pot fer activitat física amb molèsties.

Grau 3: Dolor durant i després de l'activitat física, que es veu minvada per el dolor.

Grau 4: Dolor durant les activitats diàries quotidianes. Pot arribar a produir-se la ruptura del tendó.

3.4.1.3. Mecanisme de la producció de lesió:

La tendinopatia rotuliana és un procés que pot aparèixer per diferents desencadenants, ja sigui per microtraumatismes repetitius, demanda excessiva del múscul, estrès o carga muscular molt repetitiva.

3.4.2. Tendinitis aquília

3.4.2.1. Anatomia i funcions del tendó d'Aquil·les:

El tendó d'Aquil·les està format per la fusió dels tendons del gastrocnemis i soli. Els Tendons d'aquets 3 Músculs (tríceps sural), s'uneixen distalment per formar el tendó d'Aquil·les.

És aplanat en la seva unió amb els bessons i s'arrodoneix a uns 4 cm de la seva inserció postero-inferior del calcani.

El tendó d'Aquil·les forma part del sistema aquili-plantar, sistema de gran importància des del punt de vista de moviment articular de l'extremitat inferior.

El tendó d'Aquilí és capaç de suportar una distracció d'uns 400kg.

3.4.2.2. Tendinitis aquília:

Síndrome inflamatori del tendó caracteritzat per la combinació de dolor, inflor difusa de la zona i activitat reduïda. La Distinció Entre tendinitis i tendinosis és difícil clínicament i només es pot diferenciar histològicament.

3.4.2.3. Mecanisme de la producció de lesió:

Hi han varies causes que poden desencadenar la inflamació del tendó d'Aquil·les. Aquets factors poden ser intrínsecs o extrínsecs, aquets últims serien el terreny i calçat.

Els factors intrínsecs més destacats són:

Una cinemàtica anormal com la mala alineació del peu o de la hiperpronació acompanyada d'una inversió calcània provoquen una excessiva pressió sobre el tendó d'Aquil·les.²²

Una excessiva pronació del peu crea major moviment en inversió del retropeu, per tant això provoca forces excessives en la zona medial i posterior del tendó, generant microlesions.²³

4.4.3. Fascitis plantar

3.4.3.1. Anatomia i funcions de la fàscia plantar:

La fàscia plantar o aponeurosis plantar està formada de teixit connectiu dens y fibrós que s'origina en la base del calcani i s'estén per la planta fins a inserta-se en els caps metatarsals, protegint així, els músculs de la zona.

3.4.3.2. Fascitis Plantar:

Lesió deguda a la inflamació de la fàscia plantar a nivell de la tuberositat del calcàni. Produeix intens dolor localitzat al taló que es pot irradiar per tota la planta.

Aquesta inflamació de la aponeurosis plantar és capaç de modificar el correcte recolzament del peu, per tant canviar la biomecànica. La porció més afectada de la fàscia plantar és la medial en la seva inserció sobre la tuberositat interna de la superfície plantar del calcani.

La fascitis plantar és la causa de més comuna de dolor al taló.

3.4.3.3. Mecanisme de la producció de lesió:

La causa més comú d'aquesta inflamació en esportistes és el resultat d'una tensió excessiva i repetida en el bessons, que comporta una pronació prolongada del peu. Aquesta pronació del peu fa que es produeixi un estirament repetitiu de la fàscia plantar provocant la seva inflamació.

Les formes cròniques d'aquesta inflamació normalment són conseqüència d'una pronació anormal de l'articulació subastragalina que provoca 'microtraumatismes' en la fàscia plantar.

3.4.4. Periostitis tibial

3.4.4.1. Anatomia i funcions

El periosti és la membrana externa que recobreix els ossos, és un embolcall que teixit els vasos sanguinis i els nervis, és per això que és un teixit amb gran sensibilitat.

El periosti de la tibia rep la inserció i es troba en contacte directe amb els següents músculs: gastrocnemius, solí, tibial posterior, tibial anterior i músculs flexors dels dits. Cada contracció d'aquests músculs, degut a la relació entre el propi tendó que s'insereix en el periosti, exerceixen una força sobre aquest proporcional a la intensitat i la durada de la carrera a peu.

3.4.4.2. Periostitis tibial

La periostitis tibial és un procés inflamatori del periosti de la tibia o una reacció a la tracció d'aquesta estructura per la musculatura ancorada a ell.

Es caracteritza per dolor en la cara interna de la tibia que es pot localitzar entre el genoll i el turmell. Aquest dolor comença durant la carrera en forma de punxada o 'cremor' i augmenta progressivament.

3.4.4.3. Mecanisme de la producció de lesió

La inflamació del periosti, en molts casos, es degut a un esforç excessiu durant un període de temps continuat ja sigui entrenament esportius o competicions.

Aquesta lesió apareix amb més prevalença en aquells corredors que realitzen excessiva carga en inversió o eversió, provocant un mal repartiment de les cargues que es transmeten des del peu fins la pelvis. Aquesta lesió es veu en més incidència en pacients amb hiperpronació i torsions internes de maluc, fèmur o tibia.

3.4.5. Síndrome cintilla iliotibial

3.4.5.1. Anatomia i funcions de la cintilla iliotibial

El tendó pla que es forma quan la fàscia llata de la cuixa creua el genoll, s'anomena banda o cintilla iliotibial. Aquesta, al creuar la cara lateral del

genoll s'insereix en el tubèrcul de Gerdy. El tensor de la fàscia llata té un paper fonamental en l'abducció de la cuixa i en el control de l'adducció. També estabilitza el genoll en la seva part externa. En flexió genoll la cintilla iliotibial es troba posterior al epicòndil femoral. En extensió la situació es la contrària: la cintilla iliotibial es situa anterior al epicòndil femoral.

3.4.5.2. Síndrome cintilla iliotibial

Aquest síndrome també anomenat "genoll del corredor" o banda iliotibial és un procés inflamatori de la pròpia cintilla iliotibial provocant dolor en la zona lateral del genoll.

3.4.5.3. Mecanisme de la producció de lesió

És un síndrome originat per la fricció entre la cara posterior de la banda iliotibial amb l'epicòndil femoral extern. La repetició de flexió extensió genera micro-lesions de les fibres de col·lagen. La fricció màxima s'arriba quan el genoll està en flexió d'uns 30°. El dolor de la cara externa del genoll es pot estendre fins el lligament rotulià, dificultant el diagnòstic. Afecta més la freqüència que la quantitat de força realitzada en el moment de tensió sobre la zona. ²⁴

4. CORRELACIÓ DELS CANVIS BIOMECÀNICS QUE ES PRODUUEIXEN EN EL TRIATLÓ AMB LES LESIONS MÉS FREQUËNTS DEL TRIATLÓ.

Un cop analitzats els canvis biomecànics produïts en les transicions del triatló i descrites les lesions més freqüents, a continuació realitzo una correlació entre aquestes dues variables. D'aquesta manera, explicaré lesió per lesió quina correlació hi pot haver amb els canvis biomecànics.

TENDINITIS ROTULIANA

La tendinitis rotuliana anirà associada als canvis biomecànics que es produeixen en la transició entre el ciclisme i la carrera a peu. Durant el ciclisme el genoll està constantment realitzant flexió i extensió de forma continuada, per tant el tendó patirà moviments de contracció i elongació. Aquets moviments es tornaran a repetir en la carrera a peu posterior, és per això que el fet de la fatiga prèvia degut al ciclisme, el canvi postural i l'impacte amb el terra fan que aquesta lesió és pronunciada en la carrera a peu.

La hiperpronació del peu i la rotació interna de l'extremitat degut a la fatiga muscular provoquen que el repartiment de forces aplicades sobre aquest tendó no sigui uniforme, provocant una sobrecarrega mecànica i afavorint el fenomen d'isquèmia.²⁵

TENDINITIS AQUÍLIA

La tendinitis aquília apareix en la carrera a peu associada directament amb la pronació del peu. La pronació excessiva del peu degut a la fatiga muscular, pronunciada per el ciclisme previ, crea forces excessives a la zona medial i posterior del tendó d'Aquilles. Aquestes alteracions provoquen que el repartiment de forces aplicades sobre el tendó no sigui uniforme, provocant una sobrecarrega mecànica, afavorint el fenomen d'isquèmia i microlesions.²⁵

FASCITIS PLANTAR

La fascitis plantar es presentarà normalment en la disciplina de la carrera a peu degut als canvis biomecànics que es produeixen en la transició entre el

ciclisme i la carrera a peu. Com hem esmentat anteriorment, en el ciclisme la volta plantar conserva totalment les seves característiques gràcies al calçat. En el moment en que es comença la carrera a peu l'extremitat parteix d'una fatiga muscular degut a les disciplines prèvies i per tant també es trobarà fatigada la musculatura encarregada de mantenir la volta plantar provocant canvis de pressió i de recolzament.

A mesura que augmenta la distància recorreguda i la fatiga muscular el peu tendeix a la pronació i rotació interna de l'extremitat.

PERIOSTITIS TIBIAL

La periostitis tibial és una lesió associada comunament a la carrera a peu degut a la fatiga muscular, per la realització consecutiva de les tres disciplines, i la pronació del peu juntament amb l'impacte del terra són les causes per el desencadenament de la periostitis tibial en els triatletes.

SINDROME CINTILLA ILIOTIBIAL

Aquest síndrome normalment es produeix en la disciplina del ciclisme i s'accentua en la carrera a peu posterior. En la majoria de casos, la flexió extensió constant del genoll en el ciclisme augmenta la fricció entre la cintilla iliotibial i l'epicòndil femoral extern provocant la seva inflamació.

En la carrera a peu s'accentua la fricció per la pronació del peu i la rotació interna de l'extremitat degut a la fatiga muscular. També cal destacar que la fricció màxima s'arriba quan el genoll passa de extensió a flexió de 30°, moviment constant en la carrera a peu.

5. MATERIAL I MÈTODES

RECERCA BIBLIOGRÀFICA

He dut a terme una revisió bibliogràfica sobre els canvis biomecànics en el triatló dels últims 20 anys. Es van analitzar les publicacions en els sistemes de col·lecció de PubMed i Medline de 1995 a 2015. Per a la cerca dels articles es van emprar les següents paraules: triathlon, triathlon transitions, biomechanics of triathlon, biomechanics of pedaling, biomechanics of running, triathlon injuries, en anglès, i triatlón, transiciones, biomecànica de la natación, biomecànica de la carrera a pie, biomecànica del pedaleo y ciclismo, en castellà, presentant-se una gran quantitat d'articles sobre el tema d'estudi encara que alguns en realitat estaven repetits en bases diferents. Aquests van ser eliminats, i sempre es va considerar per a aquestes situacions, el primer registre.

Per a la selecció dels articles, es va realitzar una primera lectura atenta, amb l'assimilació de les idees principals per a la realització després de la lectura selectiva. En aquesta segona lectura es va cobrir la totalitat de l'article, seleccionant el més apropiats segons el propòsit del treball. També he executat cerca en llibres de triatló, anatomia, biomecànica de la natació, ciclisme i carrera a peu.

REALITZACIÓ D'ENQUESTES

Per tal de complementar el treball es va realitzar una enquesta per a triatletes de nivell olímpic. Aquesta es va realitzar de forma online mitjançant el formulari de Google, per tal de facilitar la participació dels triatletes. L'objectiu d'aquesta enquesta es valorar quines lesions són les més freqüents i si coincideix amb les trobades a la bibliografia. A nivell informatiu valorar si els triatletes consulten al podòleg per tal de tractar les seves lesions siguin o no a nivell del peu. La mostra final ha sigut de 73 subjectes homes entre edats de 19 a 52 anys amb una mitja de 30 anys. La enquesta era la següent:

Enquesta Triatló

*Obligatorio

Club de triatló: *

Edat *

Quantes hores a la setmana (en una setmana de càrrega normal) dediques a l'entrenament de triatló? *

- Entre 1 i 4 hores
- Entre 4 i 8 hores
- Més de 8 hores

Has patit alguna d'aquestes lesions? *

- Periostritis Tibial
- Síndrome cintilla iliotibial
- Fascitis Plantar
- Tendinitis aquília
- Tendinitis rotulliana
- Mai he patit una lesió
- Otro:

En quin sector del triatló es pronuncia els símptomes de la lesió/ns?

- Natació
- Ciclisme
- Carrera a peu
- Otro:

Has consultat algun cop al Podòleg per solucionar alguna d'aquestes lesions?

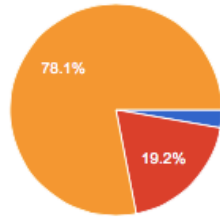
- Sí
- No

Enviar

Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google.

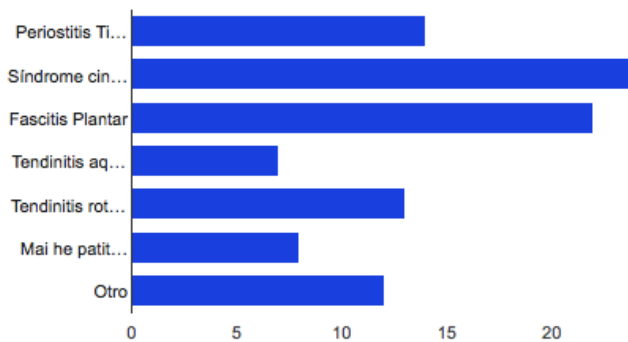
6. RESULTATS

Quantes hores a la setmana (en una setmana de càrrega normal) dediques a l'entrenament de triatló?



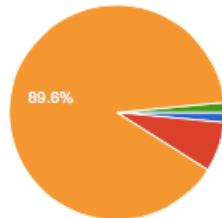
Entre 1 i 4 hores	2	2.7%
Entre 4 i 8 hores	14	19.2%
Més de 8 hores	57	78.1%

Has patit alguna d'aquestes lesions?



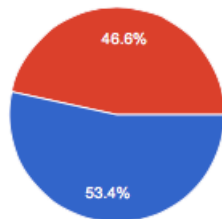
Periostitis Tibial	14	19.2%
Síndrome cintilla iliotibial	24	32.9%
Fascitis Plantar	22	30.1%
Tendinitis aquílica	7	9.6%
Tendinitis rotuliana	13	17.8%
Mai he patit una lesió	8	11%
Otro	12	16.4%

En quin sector del triatló es pronuncia els símptomes de la lesió/ns?



Natació	1	1.5%
Ciclisme	5	7.5%
Carrera a peu	60	89.6%
Otro	1	1.5%

Has consultat algun cop al Podòleg per solucionar alguna d'aquestes lesions?



Si	39	53.4%
No	34	46.6%

Gràfic 6.1. Resultats de l'enquesta

7. DISCUSSIÓ

Respecte la primera part del treball sobre la recerca bibliogràfica, podem veure com la majoria dels estudis realitzats amb triatletes es fa en laboratori.

Tots els estudis analitzats fins el 2003 han estat recerques on se simulaven situacions de competició dins del laboratori, en els quals la motivació de l'esportista i les circumstàncies del mitjà i l'entorn no són les mateixes que les de la pròpia competició, per la qual cosa els resultats en molts casos no són del tot fiables. Des d'aquesta data sembla que la ciència del triatló comença a treballar en la línia de buscar més especificitat i fiabilitat en els estudis. Els treballs de Cales A. (2009) i Cales A. i col (2010), són els primers que aposten realment per aquesta idea, estudis realitzats en situació real de competició. Tots els estudis que treballen sobre la electroestimulació, la majoria dels estudis que miren els canvis biomecànics i fisiològics es fan en un context d'intentar simular un cas real, cosa que hem permet afirmar que el triatló necessita més estudis en situació real. Tot i que en laboratori puguis buscar un ambient molt similar, mai serà igual que un cas real, i els resultats no seran tan fiables.

Pel que fa a l'afectació de la biomecànica de la natació sobre la biomecànica del ciclisme, els estudis ens diuen que no hi ha cap efecte representatiu. Aquesta dada és important remarcar que estem estudiant el triatló de curta distància (distància olímpica), es probable que si analitzem el triatló de llarga distància, els efectes i resultats serien uns altres.

A manera pràctica, podem destacar que l'entrenament de la carrera a peu dels triatletes, ha d'incloure exercicis tècnics que el seu objectiu sigui disminuir la diferència presentada entre els triatletes de major nivell pel que fa als de menor nivell en aquelles variables significatives, així es buscarien uns temps de vols majors, un menor angle del genoll lliure durant l'enlairament (evitant l'acció pendular de la cama lliure), una major distància del maluc al suport i minimitzar l'oscil·lació vertical del maluc. Així obtindríem una major longitud de gambada i un lleu increment de la freqüència, la qual cosa desembocaria en una major.

Respecte la segona part del treball, l'anàlisi de les dades extretes de les enquestes, les primeres dades que podem extreure són que de 73 triatletes, un

53,42% (39 subjectes) sí que ha patit una lesió i que un 46,58% (34 subjectes) no ha patit cap lesió. Primera dada que ens mostra l'alt risc de lesió que hi ha en aquest esport.

D'aquests lesionats, un 69,23% dels triatletes han patit una de les lesions de les que havia descrit com a més comú. Només un 30,77% (12 subjectes) tenien una altre lesió diferent a les que he analitzat dels quals, a més a més, 5 dels 12 subjectes havien patit també una de les lesions típiques analitzades.

Del total de triatletes enquestats (73) un 2,7% entrenen entre 1 i 4 hores setmanals, un 19,2% entre 4 i 8 hores i un 78,1% més de 8 hores setmanals. Aquestes dades ens mostren que el triatleta és un esportista que dedica moltes hores a l'entrenament, fet que dona més motius per afirmar que el triatló és un esport amb un alt percentatge de lesió. Més hores d'entrenament suposen més càrrega i més impacte sobre les extremitats, a més a més d'augmentar el temps de probabilitat de que es produeixi una lesió.

La majoria dels triatletes que han patit una lesió, es pronuncien els símptomes en el sector de la carrera a peu (89% dels lesionats). Només un 7,5% (5 subjectes) han marcat el sector de la bicicleta com el sector en que es pronuncien els símptomes. D'aquets 5 subjectes, 3 són de tendinitis rotuliana y 2 d'ell de síndrome de cintilla iliotibial. Això ens fa pensar que, l'articulació del genoll es la que mes pateix en el ciclisme degut a la flexo extensió continuada durant 40 km, aquestes dues lesions s'associen directament amb la flexió extensió del genoll. Només un 1,5% (1 subjecte) marca la natació com a sector que pronuncia els símptomes.

Dels triatletes enquestats, un 53,4 % ha consultat algun cop al podòleg per tal de tractar les seves lesions i un 46,6% no ha consultat mai al podòleg. Aquest fet ens indica que hi ha poc costum a recórrer al podòleg per part dels triatletes.

Lesions	N de la mostra	% de la mostra total	% dels lesionats	% dels lesionats que van al podòleg
Fascitis Plantar	22	30,14%	56,41%	86,36%
Tendinitis aquília	7	9,59%	17,95%	57,14%
Periostitis Tibial	14	19,18%	35,90%	57,14%
Síndrome cintilla iliotibial	24	32,88%	61,54%	45,83%
Tendinitis rotuliana	13	17,81%	33,33%	61,54%
Altres	12	16,44%	30,77%	41,67%

Taula 7.1. Resultats de les lesions de l'enquesta realitzada.

En aquesta taula es fa un anàlisi de les respostes lesió per lesió. Com podem veure, en el cas de la fascitis plantar, un 30,14% dels triatletes (22 subjectes de la mostra) que van contestar l'enquesta havien patit aquesta lesió, resultant així que entre els triatletes lesionats el 56,41%, han patit fascitis plantar. D'aquets 22 subjectes amb fascitis plantar un 86,36% sí que van recórrer al podòleg.

En el cas de la tendinitis aquília, un 9,59% dels triatletes (7 subjectes de la mostra) que van contestar l'enquesta havien patit aquesta lesió, resultant així que entre els triatletes lesionats el 17,95%, han patit tendinitis aquília. D'aquets 7 subjectes amb tendinitis aquília un 57,14% sí que van recórrer al podòleg.

En el cas de la periostitis tibial, un 19,18% dels triatletes (14 subjectes de la mostra) que van contestar l'enquesta havien patit aquesta lesió, resultant així que entre els triatletes lesionats el 35,90%, han patit periostitis tibial. D'aquets 14 subjectes amb periostitis tibial un 57,14% sí que van recórrer al podòleg.

En el cas del síndrome de cintilla iliotibial, un 32,88% dels triatletes (24 subjectes de la mostra) que van contestar l'enquesta havien patit aquesta lesió, resultant així que entre els triatletes lesionats el 61,54%, han patit síndrome de cintilla iliotibial. D'aquets 24 subjectes amb síndrome de cintilla iliotibial un 45,83% sí que van recórrer al podòleg.

En el cas de la tendinitis rotuliana, un 17,81% dels triatletes (13 subjectes de la mostra) que van contestar l'enquesta havien patit aquesta lesió, resultant així que entre els triatletes lesionats el 33,33%, han patit tendinitis rotuliana. D'aquets 13 subjectes amb tendinitis rotuliana un 61,54% sí que van recórrer al podòleg.

Les lesions que no estan analitzades en el treball representen un 16,44% de la mostra total (12 subjectes), resultant així que entre els triatletes lesionats el 30,77%, han patit una lesió diferent a les estudiades. D'aquets 12 subjectes un 41,67% sí que van recórrer al podòleg.

8. CONCLUSIONS

- Els estudis ens mostren que la biomecànica de la natació no te cap efecte representatiu sobre la biomecànica del ciclisme en el triatló de distancia olímpica.
- La biomecànica de la carrera a peu es veu poc afectada pel ciclisme i la natació en triatletes d'elit, però sí que afecta amb importància als triatletes de menor nivell.
- La fatiga muscular creada per el sector del ciclisme, és la principal causa dels efectes produïts per la carrera a peu.
- Es veuen possibles correlacions entre els canvis biomecànics i les lesions més freqüents del triatló.
- La tendinitis rotuliana es pot relacionar amb la flexió extensió de genoll en la suma de les dues ultimes disciplines del triatló, que es veu agreujada amb l'impacte del terra de la carrera a peu.
- El síndrome de la cintilla iliotibial es pot relacionar amb la disciplina del ciclisme i s'accentua en la carrera a peu posterior per la fatiga muscular i la repetitiva acció de flexió extensió del genoll.
- La tendinitis aquília, la fascitis plantar i la periostitis tibial poden tenir relació amb la fatiga muscular produïda en les dues últimes disciplines, provocant la rotació interna de l'extremitat i la pronació del peu.
- Hi ha poc costum per part del triatleta a recórrer el podòleg. Només un 53,4 % dels triatletes enquestats ha consultat algun cop al podòleg.
- Els triatletes de la mostra recorren al podòleg en un 86% en el cas de fascitis plantar i en canvi en la resta de lesions només consulten entre un 60% i un 40% del triatletes.

9. BIBLOGRAFIA

1. ISABELLE, B. El triatlón: del principiante al ironman. Paidotribo 2002
2. SANJUAN, R., JIMÉNEZ, P.J., GIL, E.R., SÁNCHEZ, R.J., FENOLLOSA, J. Biomecánica de la rodilla. Patología del aparato locomotor. 2005. 3:189-200.
3. NAVARRO, F. Hacia el dominio de la Natación. Madrid: Ed. Gymnos,1995.
4. REISCHLE, K. Biomecánica de la Natación.. Madrid: Ed. Gymnos, 1993.
5. PLATONOV, V.N. y FESSENKO, S.L. Los sistemas de Entrenamiento de los mejores Nadadores del Mundo. Barcelona: Ed Paidotribo. Vol. II, 1994.
6. HIDALGO, J.L. Biomecánica del triatlón de distancia olímpica. Revista Digital- Buenos Aires: Año 8 N° 58 Marzo de 2003
7. GARCÍA, J. Biomecánica y tecnificación. Jornadas de trabajo sobre tecnificación deportiva. Consejo Superior de Deportes. 2011
8. CASTELLOTE, J.M. Biomecánica de la extremidad inferior en el ciclista. Arch Med Dep. 2011. III(11):233-238.
9. HAUSHALTER, G., LANG, G.: Biomecanique du pied du cycliste appliqué au positionnement de la chaussure. Medecine du Sport. 58:136. 1985.
10. HAUSHALTER, G., LANG, G.: Le pied du cycliste. Considérations biomécaniques. Medecine du Sport. 56: 438. 1982.
11. SANZ, C. Cinesiología de la marcha humana normal. *Links*, 2006, p. 1-14.

12. JARAMILLO, C. Atletismo Básico. Editorial Kinésis. Segunda edición, Armenia- Colombia . Febrero de 2004
13. DE LA CRUZ, B (2009).Biomecánica de la marcha y la carrera.
14. HAUSSWIRTH C, BIGARD Ax, GUEZENNEC Cy. Relationships between running mechanics and energy cost of running at the end of a triathlon triathlon and a marathon. Int J Sports Med. Jul 1997;18(5):330-9
15. HUE, O., LE GALLAIS, D., CHOLLET, D., BOUSSANA, A., PREFAUT, C.. The influence of prior cycling on biomechanical and cardiorespiratory response profiles during running in triathletes. Eur J Appl Physiol Occup Physiol., 77(1-2), 1998, 98-105.
16. MILLET, G. P., VLECK, V. E.. Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. Br J Sport Med, 34, 2000, 384-390.
17. GOTTSCHALL, J. S., PALMER, B. M. Acute Effects of Cycling on Running Step Length and Step Frequency. Journal of Strength and Conditioning Research, 14(1), 2000, 97-101.
18. HEIDEN, T., BURNETT, A.. The effect of cycling on muscle activation in the running leg of an Olympic distance triathlon. Sports Biomech, 2(1), 2003, 35-49.
19. VLECK, V. E., BURG, I. A., BENTLEY, D. J. The consequences of swim, cycle, and run performance on overall result in elite olympic distance triathlon. Int J Sports Med, 27(1), 2006, 43-48.
20. CALA A. Análisis biomecánico del sector de carrera a pie de la competición en Triatlón. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

21. CALA A., CEJUELA R., NAVARRO E. Biomechanical analysis of the 10km-run in a triathlon World cup event: differences presented by women gold Medal. *J. Hum. Sport Exerc*; 5(1):2010, 34-42.
22. VIVIENNE H. CHUTER A., XANNE A.K. Janse de Jonge. Proximal and distal contributions to lower extremity injury: A review of the literature. *Gait & Posture* 36, 2012, 7–15
23. KADER D, SAXENA A, MOVIN T, MAFFULLI N. Achilles tendinopathy: some aspects of basic science and clinical management *Br J Sports Med* 2002; 36:239–249.
24. FREDERICSON M., WEIR A. Practical Management of Iliotibial Band Friction Syndrome in Runners; *Clin J Sport Med* 2006; 16: 261-268.
25. DE PALMA L, GIANTE A, RAPALI S. Physiopathology of the repair process of lesions of Achilles tendón. *Foot and Ankle Surg.* 2006; 12: 5-11

10. AGRAÏMENTS

- Primerament, al meu tutor per donar-me tota l'ajuda i seguiment durant tot el transcurs del treball.
- Als triatletes enquestats per la seva col·laboració.
- A la meua parella, triatleta i preparador físic, per l'ajuda i els ànims durant aquet temps.
- A la biblioteca d'INEFC per facilitar-me l'accés a articles i la informació necessària.
- A la Carla, per ajudar-me sempre que ho he necessitat al llarg del treball.