



UNIVERSITAT_{DE}
BARCELONA

Estudio anatómico y ecográfico del nervio radial en su recorrido por el brazo y antebrazo

Jose García Martínez



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

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

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



UNIVERSITAT^{DE}
BARCELONA

ESTUDIO ANATÓMICO Y ECOGRÁFICO DEL NERVIO RADIAL EN SU RECORRIDO POR EL BRAZO Y ANTEBRAZO Y SUS RELACIONES MIOFASCIALES

Memoria de tesis doctoral presentada por:

Jose García Martínez

Para optar al grado de

Doctor por la Universitat de Barcelona

Tutora y Directora

Dra. Maribel Miguel Pérez

Director

Dr. Ginés Viscor Carrasco

Programa de Doctorado de Medicina e Investigación Translacional

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Universitat de Barcelona

BARCELONA, 2022

Universitat de Barcelona

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Memoria presentada por **José García Martínez**, graduado en Fisioterapia, para optar al grado de Doctor por la Universidad de Barcelona, por el programa de Doctorado de Medicina e Investigación Translacional.

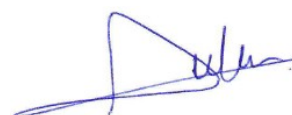
La presente tesis doctoral, ***Estudio anatómico y ecográfico del nervio radial en su recorrido por el brazo y antebrazo y sus relaciones miofasciales*** ha sido desarrollada en la Unidad de Anatomía y Embriología Humana, del Departamento de Patología y Terapéutica Experimental y en el seno del grupo SGR de *Fisiología adaptativa: ejercicio e hipoxia* bajo la tutorización y dirección de la Dra. Maria Isabel Miguel Pérez y del Dr. Ginés Viscor Carrasco.



Dra. Maria Isabel Miguel Pérez
Directora y tutora



Dr. Ginés Viscor Carrasco
Director



José García Martínez
Doctorando

Barcelona, julio de 2022

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de esta tesis doctoral ha sido para mí un acto de superación y entrega personal por muchas razones. La falta de tiempo entre tanta vorágine laboral, la dificultad en contextualizar y ser claro en la forma de transmitir las ideas, pero sobre todo el sentimiento de no divisar nunca el final del camino, han hecho que esta tesis sea uno de mis retos más duros.

Gracias a las personas que me han rodeado en este camino y me han apoyado desinteresadamente, dedicándome su tiempo y esfuerzo ha sido posible que llegue a su destino. Pero sobre todo a las personas que de forma voluntaria donan sus cuerpos a la ciencia, sin ellos no sería posible que estas cosas sucedieran, así que por encima de todo mi gratitud hacia ellos, me han hecho mejor profesional en mi trabajo diario en consulta.

Agradecer a todo el equipo de la Sala de Disección del Campus de Bellvitge de la Universidad de Barcelona, por acogerme y facilitarme el proceso de investigación junto a ellos.

Mi sentimiento de gratitud a todos los profesionales que participaron de forma directa e indirecta en la publicación del artículo, sobre todo a Sara Ortiz Miguel y Dr. Albert Pérez Bellmunt. Quiero agradecer en especial Albert por su participación desinteresada no solo en este artículo, sino también en la tesis. La pasión por la docencia y la anatomía te desborda, no la pierdas nunca. Muchas gracias por tus consejos, apoyo y participación.

Al Dr. Ginés Viscor Carrasco, gracias por tu dirección en esta tesis, por tu enorme colaboración y profesionalidad, transmitiendo tu amor por la investigación. Agradecer los ánimos recibidos en los momentos duros, han sido muy importantes para mí. Tu gran experiencia y bagaje en este mundo hacen que las cosas difíciles sean fáciles, me quedo con tu positivismo, alegría y pasión que transmites en lo que haces. Eres “EL PROFESOR” con mayúsculas.

Para finalizar a la Dra. Maribel Miguel Pérez, mi directora de tesis. En primer lugar, agradecer su tutela y sobre todo la paciencia durante estos años, sé que ha sido inmensa. Gracias por haberme abierto las puertas a este mundo tan apasionante de la anatomía real, y acogerme como uno más en el equipo. Ha sido una gran experiencia y privilegio para mí haber compartido junto a ti y los tuyos estos años de vida y aprendizaje.

Humildad, dedicación, amistad, talento, pragmatismo, todos ellos son adjetivos que te pueden definir como profesional y sobre todo como persona. Eres la anatomista por excelencia y una referente en la materia. Gracias por haber aparecido en mi camino, sin ti esta tesis no habría sido posible.

Y, por su puesto a mi familia, mis padres, hermanos, pero sobre todo a mi mujer Nausica y mi hijo Soren, han sufrido conmigo los buenos y malos momentos que ha llevado este proceso. Por quienes siento devoción y a quienes les dedico este trabajo.

ÍNDICE

ÍNDICE

ÍNDICE ABREVIATURAS	11
ENUMERACIÓN ARTÍCULOS COMPONEN LA TESIS	13
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	17
A) Epicondilitis lateral	20
B) Anatomía descriptiva y relacional del Nervio Radial	23
C) Neuropatía Periférica	26
D) Fascias de la Extremidad Superior	30
D.1) Histología de la Fascia	31
D.2) Clasificación	32
D.2.1) Tejido Adiposo	33
D.2.2) Fascia braquial y antebraquial	36
D.3) Distribución	39
D.4) Función	40
D.4.1) Disfunción de la Fascia	41
E) Estudio ecografía del Nervio Radial y Nervio Cutáneo Antebraquial Posterior	43
HIPÓTESIS	45
OBJETIVOS	50
MATERIAL Y MÉTODOS	53
RESULTADOS	
A) Estudio ecográfico	65
B) Estudio anatómico	68
B.1) Nervio cutáneo antebraquial posterior	68

B.2) Nervio radial	79
DISCUSIÓN	93
CONCLUSIONES	113
BIBLIOGRAFÍA	117
ANEXO	133

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AS Arcada Supinadores

B Braquial

BR Braquiorradial

EES Extremidad superior

ERCC Extensor radial corto del carpo

ERLC Extensor radial largo del carpo

FS Fascia Superficial

FP Fascia Profunda

NCAP Nervio cutáneo antebraquial posterior

NR Nervio radial

TAP Tejido adiposo profundo

TAS Tejido adiposo superficial

TCS Tejido celular subcutáneo

TIL Tabique intermuscular lateral

US Ultrasonido

VLTB Vasto lateral tríceps braquial

ENUMERACIÓN DE ARTÍCULOS QUE COMPONEN LA TESIS

Este proyecto de Tesis Doctoral, aprobada por la Comisión de Doctorado del consejo de Gobierno del 13 de junio del 2015, se presenta en formato de presentación clásica.

La presente tesis se basa en la presentación de un artículo original que pretende ofrecer un mayor conocimiento anatómico en el recorrido del nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP) y del nervio radial (NR), así como una descripción minuciosa de su relación con los diferentes tipos de tejido que lo envuelven en su descenso. Se prestará especial atención al tejido fascial y conectivo, un tejido que transmite tensiones, envuelve y conecta entre sí las estructuras internas del cuerpo tales como: músculos, tendones, vasos y nervios, entre otros. Para lograr estos objetivos el trabajo se planificó en dos estudios simultáneos, uno ecográfico y otro anatómico. El manuscrito derivado de esta tesis tiene como objeto el estudio de los posibles puntos susceptibles de producir un atrapamiento o compresión del NCAP y/o NR a nivel periférico, como consecuencia de sus relaciones con los tejidos que los envuelven durante su recorrido. En todo momento se ha mantenido un enfoque muy pragmático, pensando siempre en la utilidad de estos nuevos conocimientos, que permita al terapeuta manual entender mejor los resultados obtenidos en sus tratamientos enfocados al tejido blando y consecuentemente, poder realizar un abordaje más preciso según la anatomía específica de cada zona.

El estudio se enfocó en el nervio radial y nervio cutáneo antebraquial posterior, desde su división respecto al nervio radial, hasta el dorso de la muñeca, analizando todo el territorio póstero-lateral del brazo y antebrazo. Finalmente, se propone el diseño de un abordaje manual sobre el deslizamiento del nervio, más integrado en este enfoque músculo-fascial como tejido multifuncional.

García J, Miguel M, Perez A, Ortiz S, Viscor G. The course of posterior antebrachial cutaneous nerve: anatomical and sonographic study with a clinical implication. *Int J Environ Res Public Health* 2021 Jul;18(15):7733.

SJR (Scimago Journal Ranking): H-index: 138; Q2 (2021) en la categoría "Public Health, Environmental and Occupational Health"

Web of Science JCR (Journals Citations Report) Datos de la edición 2020: Journal Impact Factor: 3.390; Q2 (SCIE) Categoría "PUBLIC, ENVIRONMENTAL & OCCUPATIONAL HEALTH" (68/203).

RESUMEN

El nervio radial realiza un tortuoso camino por el brazo y antebrazo relacionándose con diferentes estructuras anatómicas que están envueltas por la fascia muscular profunda de la extremidad superior (EESS) y más superficialmente por el tejido celular subcutáneo (TCS) o tejido adiposo. La fascia muscular profunda de la EESS, o también llamada braquial y antebraquial, está formada por tejido conectivo denso y forma tabiques que compartimentan los diferentes grupos musculares de la EESS y también sirve de origen a diferentes músculos. De esta forma esta fascia puede variar sus características y aumentar su densificación en lugares sometidos a mayor tensión y movimiento.

Cuando existen alteraciones músculo-tendinosas en el codo suelen diagnosticarse como epicondilitis lateral. Sin embargo, la fisiopatología subyacente algunas veces es confusa. Algunas líneas de evidencia sugieren que la epicondilitis no necesariamente implica procesos inflamatorios, sino más bien alteraciones en la función nociceptiva, déficit motor y cambios morfológicos músculo-tendinosos. Esta patología puede cronificarse sin un tratamiento adecuado. En la práctica clínica se observa que en algunos pacientes con epicondilitis lateral refractaria hay un aumento en la tensión del tabique lateral del brazo, acompañado por la presencia de puntos hiperálgicos a la palpación que coinciden a nivel ecográfico y anatómico con el recorrido del nervio radial o su rama cutánea.

En base a esto, es posible que el aumento de la tensión músculo-fascial en la zona pueda impedir o limitar el libre deslizamiento del nervio en estos puntos.

Nuestra **hipótesis** es que un conocimiento ecográfico y anatómico del trayecto del nervio radial y su rama, el nervio cutáneo antebraquial posterior puede contribuir a entender una compresión periférica en su recorrido. Por esta razón, el **objetivo** principal de esta tesis doctoral ha sido desarrollar una base anatómica precisa en la relación del nervio radial y nervio cutáneo antebraquial posterior con el tejido conectivo y músculo-fascial que lo rodea mediante disección de cadáveres, además de realizar una correlación ecográfica de los puntos diana. Los **resultados** anatómicos describen la anatomía de esta zona de manera más detallada y enfocada al terapeuta manual, mostrando las uniones e irregularidades miofasciales (túneles, arcos, aponeurosis, etc.) donde el nervio puede sufrir compresión. A la luz de los resultados obtenidos, la hipótesis inicial planteada en este estudio se ha visto confirmada, por la estrecha

relación hallada entre el tejido músculo-fascial y conectivo con el recorrido del nervio radial y su rama cutánea antebraquial posterior.

La capacidad de identificar los lugares potenciales de compresión por parte del terapeuta es crucial. Conociendo la anatomía en el recorrido del nervio radial, junto con las medidas de referencia establecidas, es posible localizar los puntos sensibles donde el nervio puede estar sufriendo una limitación al deslizamiento y mayor fricción con los tejidos adyacentes y de este modo orientar más eficazmente nuestros tratamientos a nivel local y periférico.

Aunque una de las causas habituales de dolor en extremidad superior es el dolor radicular derivado de la compresión cervical, se ha considerado también en el diagnóstico diferencial la posibilidad de una compresión periférica del nervio radial y su rama cutánea. Por ello, la terapia manual se puede basar en la neuropraxia (presión sobre el nervio con disestesias resultantes, pero sin pérdida de continuidad) y solo cuando el grado de compresión es mayor se debería actuar con técnicas más invasivas.

La aportación principal de esta tesis doctoral consiste en incorporar estos nuevos conocimientos anatómicos al terreno de la rehabilitación, en los tratamientos de epicondilitis lateral y/o dolor lateral del brazo. Estudios futuros deberían confirmar mediante un ensayo clínico los resultados obtenidos en esta tesis, aplicando el tratamiento músculo-fascial y movilización neural sugerido en casos de epicondilitis lateral, como complemento al tratamiento habitual.

Igualmente, serán necesarios futuros estudios ecográficos que evalúen, tanto el rango de deslizamiento del nervio radial como su diámetro en las áreas estudiadas, estableciendo patrones que puedan indicar cuándo hay una disfunción. De esta manera podríamos evaluar los cambios generados con nuestro tratamiento manual dirigido al tejido miofascial y al deslizamiento neural.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Las patologías músculo-esqueléticas son las principales patologías existentes en los centros de rehabilitación y terapia manual. Dentro de la terapia manual, incluimos todas las disciplinas en la cual la mano es la herramienta principal de tratamiento (Fisioterapia, Osteopatía, Quiropráctica) y, cada vez más, estas disciplinas se ven obligadas a profundizar más en el conocimiento anatómico y biomecánico para poder tratar estos pacientes de una forma más eficaz. Estos profesionales tienen en el estudio y comprensión funcional de la fascia unos de sus mayores aliados, como veremos en el desarrollo de esta investigación (1), puesto que el conocimiento de sus propiedades mecánicas y sus relaciones anatómicas dan explicación tanto a los mecanismos de lesión como a los resultados que encontramos después de aplicar los tratamientos de recuperación.

En las últimas décadas, gracias a los espectaculares avances de técnicas de imagen no invasivas, la anatomía humana se ha ido estudiando desde un punto de vista cada vez más funcional, y ello ha permitido comprender muchas de las lesiones musculares y tendinosas producidas en el ámbito laboral y deportivo. Por lo general, estas actividades consisten en movimientos repetitivos que exigen a los tejidos un óptimo funcionamiento, implicando un conjunto de tejidos que deben trabajar de forma conjunta, armónica y fluida, siendo el tejido conectivo uno de los elementos clave pues, como su nombre indica, conecta y relaciona las diferentes estructuras implicadas (vasculares, nerviosas, musculares, óseas, etc.).

Dentro de estas patologías se encuentra la epicondilitis lateral. Esta cursa con un dolor lateral en el codo y es la causa más común de dolor lateral de codo en adultos. Debido a su alta incidencia y al elevado porcentaje de recidivas, en la actualidad, se siguen realizando numerosos estudios para determinar su mejor tratamiento y prevención. Sin embargo, las investigaciones relacionadas con el tratamiento de esta patología obtienen resultados que pueden llegar a contradecirse según el objetivo del estudio. El diagnóstico, por regla general, se basa en un problema derivado de un trastorno degenerativo músculo-tendinoso.

Aunque se encuentran publicaciones que señalan compresiones del nervio radial en diferentes puntos, responsabilizando el tejido muscular que lo rodea (2-8), no hay

constancia de estudios anatómicos que hayan relacionado esta patología con problemas en el deslizamiento del nervio radial sobre el tejido conectivo o miofascial.

A) EPICONDILITIS LATERAL

La tendinopatía del epicóndilo lateral, o epicondilitis lateral, es una causa frecuente de dolor lateral crónico del codo (9,10). Con una prevalencia del 4-7% de la población, se presenta sobre todo entre los 30-50 años, sin predominancia de sexo (11). En un 87% de los casos se da en el brazo dominante (12) y los síntomas típicos incluyen dolor lateral del codo, dolor a la extensión de la muñeca y fuerza de agarre debilitada (13). La causa más frecuente de esta patología es la sollicitación excesiva y repetitiva de la musculatura epicondilea en movimientos de extensión de muñeca y supinación (11), llevando a una insuficiencia del tejido (14). Y por lo general, esta patología se instaura de forma progresiva y pocas veces se manifiesta con un dolor instantáneo (15).

En estudios patogénicos de la epicondilitis lateral, inicialmente, destaca un amplio estudio realizado por *Goldie* en 1964 que informó de una hipervascularización de la aponeurosis del músculo extensor y un aumento de las terminaciones nerviosas libres en el espacio subtendinoso (16). Posteriormente, *Leadbetter* en 1992 describe la epicondilitis como un proceso degenerativo dependiente del tiempo, con afectación vascular que causa alteraciones químicas y celulares, que conducen a un fracaso de la respuesta de curación de la matriz celular del tendón (17). Esta descripción difiere de las clásicas que atribuían el origen de la lesión a una respuesta inflamatoria local del tendón (18). Así pues, la evidencia histológica indica que el trastorno no implica un proceso inflamatorio sino más bien alteraciones del umbral del dolor y el sistema motor, así como cambios morfológicos musculo-tendinosos (19,20). Otros autores, describen diversos factores que pueden ser el origen de esta patología, como son los vasculares, articulares y neurológicos (21,22). La presentación clínica de la epicondilitis lateral es razonablemente sencilla, contrastando con una fisiopatología subyacente bastante más compleja (Tabla 1). Sin embargo, falta una integración de los hallazgos anatómicos, biomecánicos y clínicos. El desafío para el profesional de la salud radica en conciliar el tratamiento con los hallazgos fisiopatológicos encontrados (23).

Tabla 1; Diagnóstico diferencial dolor lateral de codo. En la tabla observamos las diferentes causas que pueden provocar una epicondilitis lateral, y su diagnóstico tanto físico como por imagen. Basado en Tosti R, et al. 2013 (13).

Patología	Historia	Examen Físico	Imagen
Espondilosis cervical	Cervicalgia con dolor radicular sobre el codo	Síntomas por compresión de columna/extensión	Rx + RMN de Columna cervical
Síndrome túnel radial	Inicio insidioso dolor lateral de codo	Dolor 2-4cm distal al epicóndilo lateral	EMG + ECN
Compresión NIP	Inicio insidioso dolor lateral de codo y debilidad	Debilidad de muñeca y extensores de los dedos	EMG + ECN
Cuerpo extraño intraarticular	Traumatismo Levantamiento de peso	Clic o limitación en rango de movimiento	Rx de codo
Lesiones condrales	Traumatismo Levantamiento de peso	Clic o limitación en rango de movimiento	RMN de codo
Tumores	Preferentemente maligno, dolor nocturno, síntomas constitucionales	Masa palpable	Rx + RMN de codo
Necrosis Avascular	Anemia falciforme, abuso de alcohol, VIH, corticosteroides	Derrame articular, síntomas mecánicos	Rx + RMN de codo
Osteocondritis disecante	Pacientes adolescentes, gimnastas, lanzadores	Derrame articular, síntomas mecánicos	Rx de codo

EMG: electromiografía; RMN: resonancia magnética nuclear; ECN: estudios de conducción nerviosa; NIP: nervio interóseo posterior

La mayoría de las epicondilitis responden al tratamiento convencional y solo el 5-10% tienden a cronificarse (24). También encontramos en pacientes tratados con inyección local de corticoesteroides, un 72% de recidivas (25). Sin embargo, la gran cantidad de opciones de tratamiento para este trastorno, sin modelos definidos, evidencia la frustración que experimentan algunos pacientes. El tratamiento quirúrgico en la epicondilitis lateral se reserva en los casos que fracasa el tratamiento conservador y las técnicas quirúrgicas a menudo incluyen la liberación clásica de Nirshl (desbridamiento y liberación del tendón extensor común) (26,27), aunque en aproximadamente un 10% de los pacientes intervenidos el resultado final se considera un fracaso, perdurando los síntomas en el tiempo (28).

Los síntomas que aparecen en la epicondilitis lateral pueden solaparse con los encontrados en un atrapamiento periférico del nervio radial, dificultando de esta manera el diagnóstico diferencial entre ellos. En este sentido, los nervios que podemos encontrar afectados a nivel del brazo son, el nervio cutáneo antebraquial lateral (rama del nervio músculo-cutáneo) y el nervio cutáneo antebraquial posterior (rama del nervio radial) (9,29) aunque, normalmente los síndromes de compresión radial ocurren en el antebrazo (6,30) con frecuencia en la arcada del supinador (AS), sobre la rama motora del nervio radial (NR) (31).

Hay estudios que demuestran cómo la epicondilitis lateral crónica y la compresión periférica del nervio radial, pueden llegar a coexistir (4,32,33), ya que los cambios locales inflamatorios y/o vasculares (cicatrización, fibrosis) pueden llevar a la compresión del nervio, especialmente su rama profunda, a su paso por la AS (34,35).

El nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP), una rama cutánea del nervio radial que inerva el epicóndilo lateral y cara dorsal del antebrazo (36–38), puede estar también implicado. En relación con ello, algunos estudios demostraron que la denervación del NCAP era eficaz en la mejoría del dolor y la fuerza de agarre en pacientes con síntomas crónicos de epicondilitis lateral (39). Incluso otros estudios compararon la denervación del NCAP con la epicondilectomía en casos de epicondilitis lateral, dando como resultado favorable la denervación (27). Y con la aplicación de la ecografía se ha comprobado también la eficacia de los bloqueos del NCAP ecoguiados (inyectando anestesia local con o sin corticosteroides) en casos de epicondilitis crónica, concluyendo que tienen una utilidad diagnóstica y potencialmente terapéutica en este tipo de paciente (40).

Por todo ello, es necesario un replanteamiento en el fracaso terapéutico del 5-10% en la epicondilitis lateral/dolor lateral del brazo, para buscar un nuevo enfoque en su tratamiento, más dirigido al tejido conectivo y miofascial, que contribuya a solventar el problema, tanto en fases iniciales como crónicas. El renovado enfoque en las causas del tratamiento fallido para la epicondilitis lateral crónica ha obviado en muchas ocasiones la implicación del nervio radial y su rama cutánea.

B) ANATOMÍA DESCRIPTIVA Y RELACIONAL DEL NERVIO RADIAL

El nervio radial, junto con sus ramas cutáneas, es el responsable de la inervación de los músculos del compartimento posterior del brazo y antebrazo y recoge la sensibilidad de la piel de la zona posterior-lateral de la misma región (Fig. 1) (41). El nervio radial es el nervio con más lesiones de la extremidad superior (42) y sus disfunciones se reflejan en estos territorios, en forma de dolor, parestesias y debilidad muscular (4).

Este nervio es la rama más larga con origen en plexo braquial y corresponde al nervio terminal del fascículo posterior del dicho plexo braquial. Sus fibras provienen de la división anterior del quinto, sexto, séptimo y octavo nervio cervical y primer torácico. Su recorrido es posterior a la arteria axilar, por delante del músculo dorsal ancho y redondo mayor (43). Desde la axila, este nervio se dirige a la cara posterior del húmero, rodeándolo por el surco del nervio radial y dibujando un recorrido espiral en el compartimento posterior del brazo (41). Discurre entre las cabezas medial y lateral del músculo tríceps braquial (43) rodeado de tejido celular laxo, junto con la arteria y venas braquiales profundas (44). Este recorrido espiral, ha hecho que diferentes anatomistas como *Gray* y *Quain* lo denominaran nervio músculoespinal. En este trayecto sobre la masa tricipital, el nervio proporciona ramas motoras a cada una de las tres porciones del músculo tríceps braquial (44). Antes de alcanzar el húmero en la axila emite el pequeño nervio cutáneo posterior del brazo. La rama muscular para la porción larga del músculo tríceps braquial suele originarse también en las inmediaciones del límite entre axila y brazo. En su descenso, a parte de esta inervación muscular suministra algunos filamentos para el periostio (hueso humeral), filamentos vasculares a las anastomosis vasculares que rodean el codo, y ramitas para la articulación del codo (45).

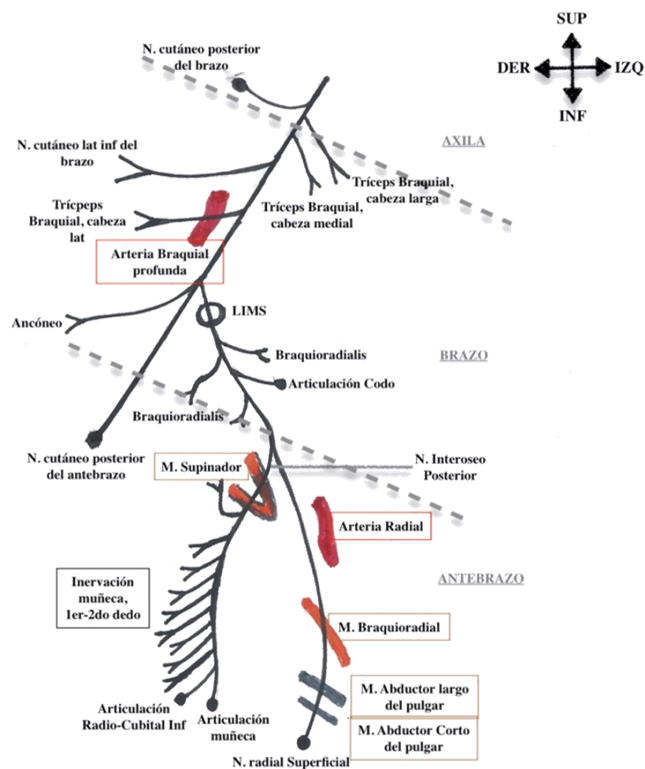


Fig. 1. En el esquema observamos el recorrido del nervio radial desde su origen hasta sus ramas terminales (sensitivas y motoras). Con los puntos de asociación arterial y muscular que encuentra en su descenso.

Abreviaturas: N, nervio; M, músculo, LIMS; lateral intermuscular septum; Lat, lateral; Inf, Inferior.

Dibujo basado en Instant Anatomy Whitaker & Borley, 2010 (47).

Al salir del canal de torsión, el nervio entra en el compartimento anterior, después de atravesar el tabique intermuscular lateral (TIL) (41,46). EL TIL divide el compartimento posterior y anterior del brazo, se extiende desde la cresta de la tuberosidad mayor del húmero hasta el epicóndilo lateral, donde confluye con el ligamento anular que rodea la cabeza del radio (46). A este nivel el nervio radial está en contacto directo con el húmero, no hay ninguna fibra muscular que lo separe y pueda amortiguar posibles compresiones, por lo tanto, puede quedar comprimido sobre el plano óseo subyacente (44).

El nervio radial, una vez llega a la cara anterior del codo, transcurre dentro de un canal profundo que está formado medialmente por el músculo bíceps braquial y braquial, y lateralmente por el músculo braquiorradial (BR) y extensor radial largo del carpo (ERLC) a los cuales proporciona ramos de inervación. Estos músculos forman el canal

bicipital externo (Fig. 2) (44). Un poco por encima del pliegue del codo el nervio generalmente se divide en una rama superficial y otra profunda (41,43).

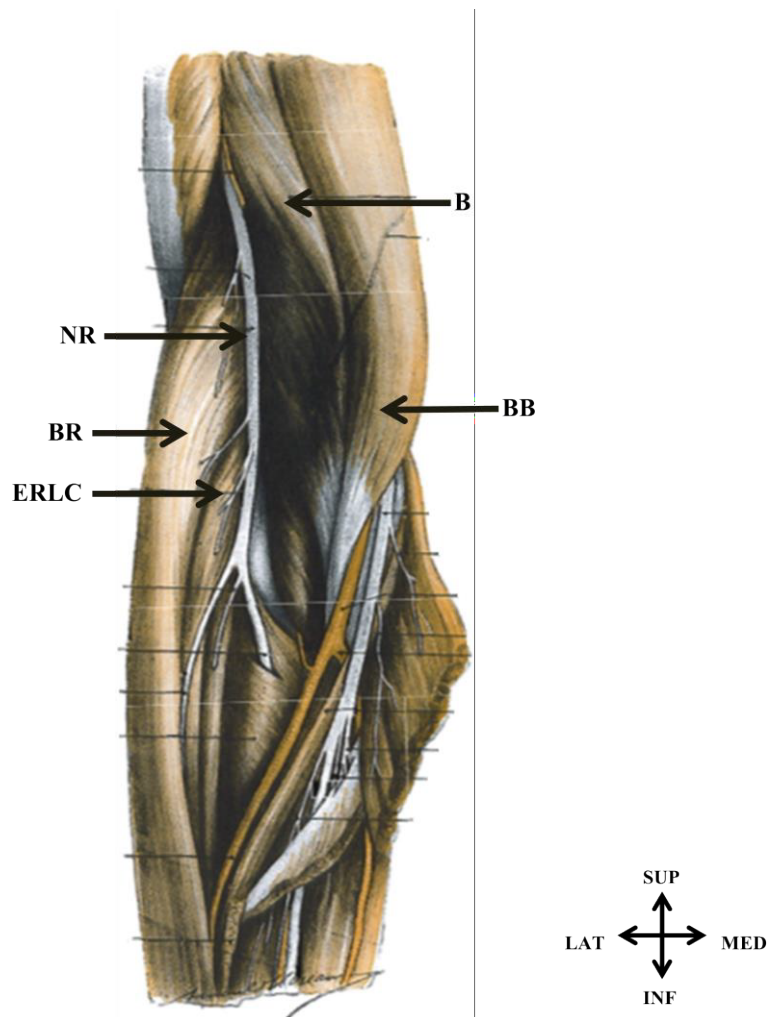


Fig.2. Imagen de la cara anterior del brazo. Observamos el canal bicipital lateral. Por la parte lateral vemos los músculos braquiorradial (BR) y extensor radial largo del carpo (ERLC). Mientras que medialmente el canal queda limitado por los músculos bíceps braquial (BB) y braquial (B). Los músculos braquial y bíceps braquial a la izquierda de la imagen son separado de la línea medio para visualizar correctamente el nervio radial (NR). Basado en Rouvière H, et al. 2005.

La rama profunda o motora pasa nuevamente al compartimento posterior del antebrazo, entre medio de los dos orígenes del músculo supinador, en un punto denominado arcada del supinador, arco fibroso formado por la cabeza superficial del músculo supinador (31,47). Aquí el nervio corre en compañía de una arteriola (procedente de la recurrente radial anterior) y de venas, dándole ramas al músculo supinador. Una vez pasa el músculo supinador, el nervio se esparce en un manojo de ramas que se distribuyen por los músculos posteriores del antebrazo (44). La rama superficial o sensitiva sigue

posterior al músculo braquiorradial hasta alcanzar la parte más distal y lateral del antebrazo. Esta rama superficial está destinada a la piel de la mano y de los dedos (44). Durante este recorrido, el nervio radial se relaciona con diferentes músculos a nivel del brazo: en la cara posterior, con el músculo vasto lateral del tríceps braquial (VLTB) y una vez atraviesa el TIL o septum lateral, en la cara anterior del brazo se relaciona con los músculos braquial y braquiorradial hasta llegar al surco bicipital lateral (31,48).

Las ramas cutáneas derivadas del nervio radial a nivel del brazo son dos, el nervio cutáneo braquial posterior y el nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP) (43). El NCAP es una rama sensitiva que se desprende del nervio radial en la parte pósterolateral del brazo, próxima al canal radial (44) y lateral al TIL (49). En esta zona, cursa pósterolateral al tabique lateral, y profundo al músculo VLTB. En la unión del músculo BR y el músculo ERLC, el nervio ingresa en el tejido subcutáneo y posteriormente se divide en dos ramas, anterior y posterior, innervando la piel del epicóndilo lateral (49) y la parte pósterolateral del antebrazo (39,50,51). El NCAP, es 1 de los 3 nervios que inerva sensitivamente el antebrazo, junto con los nervios cutáneos medial y lateral del antebrazo. Estos dos últimos, tienen un historial clínico más notorio, mientras que el NCAP pasa a menudo desapercibido (52–54).

Todas las estructuras musculares, nerviosas, junto con los vasos braquiales del brazo y antebrazo, están envueltas y empaquetadas por la fascia muscular y protegidas superficialmente por el tejido adiposo subcutáneo.

C) NEUROPATÍA PERIFÉRICA

Síndrome por compresión del nervio radial y nervio cutáneo antebraquial posterior

Entendemos por síndrome de compresión nerviosa a la irritación mecánica de un nervio periférico por compresión crónica o dinámica (55) de las estructuras adyacentes en una región anatómica estrecha o demasiado constrictiva. En la mayoría de las ocasiones, se trata de:

- Estrechos anatómicos inextensibles, que constituyen verdaderas regiones de riesgo como: túneles o canales osteofibrosos, musculares, aponeuróticos, óseos y ligamentosos (56–58).
- Puntos donde el nervio pasa de la fascia profunda a la fascia superficial haciéndose subcutáneo, la fascia forma unos hiatos aponeuróticos que pueden comprimir los nervios (52,58).
- Engrosamientos o modificaciones morfológicas tisulares (fibrosis, esclerosis, retracción, adherencias, cicatriz, etc.) por ejemplo, a causa de un refuerzo de un tejido por expansiones fibrosas entre dos músculos; durante la compresión intermuscular o aponeurótica (58).
- Cambios de dirección del nervio con una gran angulación (58).
- Incluso secuelas de traumatismos directos (56).

Sin embargo, todas estas circunstancias anatómicas pueden aumentar la tensión o compresión de los nervios periféricos, provocando una fricción durante su deslizamiento y afectando de forma negativa su función, generando cambios locales en la permeabilidad vascular (isquemia nerviosa), formación de edema y un deterioro del transporte axonal (degeneración Walleriana/fibrosis intraneural) (55,59). Como veremos en el desarrollo de esta tesis, al nervio radial pueden ocurrirle cualquiera de estas particularidades, mencionadas anteriormente, debido a su particular recorrido anatómico.

Sin embargo, todo nervio debe tener la capacidad de adaptarse a diferentes posiciones mediante desplazamientos pasivos en relación con el tejido circundante. Esta capacidad es proporcionada por un aparato de deslizamiento alrededor del nervio periférico (60). Uno de los principales factores que favorece el deslizamiento, viene dado por la fascia perineural que contiene altos niveles de ácido hialurónico, cuya importancia se destacará más adelante en el apartado dedicado a la fascia.

Algunos autores han constatado la existencia de una fascia no especializada alrededor del tronco de los nervios periféricos que proporciona un entorno laxo, donde el nervio puede deslizarse (58), y que podría corresponderse a un tejido conjuntivo laxo, que no siempre es móvil (61). Con una proporción del 75% en el caso del nervio radial por

debajo del nervio circunflejo con un 90% (58). Este tejido conectivo implica una tensión mecánica y, por tanto, cuanto mayores son las tensiones mecánicas del nervio, mayor es la proporción de tejido conectivo (58). Estudios más recientes nos hablan de esta fascia no especializada como una lámina conjuntiva adventicia que rodea el tronco nervioso y proporciona capacidad de deslizamiento extraneural y un deslizamiento intraneural. Este último viene proporcionado por el movimiento de los fascículos de fibras entre sí (62).

Las fibras nerviosas que forman el fascículo primario están inmersas en tejido conectivo, el cual les proporciona trofismo y protección mecánica (58). Las presiones neurales extrínsecas (ejercidas por tejidos adyacentes) sostenidas a nivel local, harán que la presión intraneural aumente generando un síndrome de compresión de los nervios periféricos y perturbando su capacidad de conducción (58). La fibrosis del epineuro epifascicular puede causar la compresión de todo el tronco nervioso, de forma similar a la presión que puede ejercer una media muy ajustada y apretada (60). Un nervio sólo realiza su función de forma correcta si está libre en el seno de su propia estructura y respecto a los tejidos que lo rodean, ya que debe disponer de libertad de movimiento (58). Pero, en general, se ha prestado poca atención a los efectos biomecánicos del movimiento articular asociados al movimiento y estiramiento del nervio, la cual puede ser la posible patogénesis de las neuropatías radiales periféricas (63).

Las personas que sufren de atrapamiento nervioso periférico comúnmente se quejan de dolor ardoroso o lancinante y parestesias en la distribución del nervio afectado. Aunque también pueden incluir alteración en la sensibilidad, en los reflejos y la función motora (4,56). Estos últimos síntomas los encontraríamos en compresiones agudas o traumáticas sobre las ramas motoras.

La compresión más conocida del nervio radial se localiza sobre la arcada del supinador, con una prevalencia del 7% en trastornos de origen laboral (64). Se describe como una neuropatía por compresión dinámica e intermitente del nervio radial cerca de la articulación radio-humeral, lugar donde diferentes estructuras pueden comprimir el nervio (7). Para finalizar, y según la literatura disponible con respecto al nervio radial, encontramos diferentes zonas donde puede verse comprimido:

- En el compartimento posterior del brazo, podemos encontrar puntos potenciales de atrapamiento; en el paso del nervio a través del espacio triangular entre el húmero y la cabeza larga del tríceps, y a través de la VLTB (46).
- El TIL es un lugar potencial de compresión, aunque poco común, donde el nervio pasa de compartimento posterior al anterior (3-5)
- Atrapamiento del nervio radial en el origen del músculo braquiorradial a nivel del húmero (6). Incluso se ha observado compresiones entre los músculos braquial y braquiorradial (65)
- En el antebrazo hay diferentes estructuras potenciales que pueden generar una compresión como las bandas fibrosas de la articulación radio-cubital, borde medial del ERCC, la arcada del supinador y el borde distal del músculo supinador (2,7,8), así como la arteria radial recurrente (7,8).

Debido a que su origen está muy próximo al surco espiral, el NCAP también puede verse comprometido al igual que el nervio radial en esta misma ubicación. La incidencia de neuropatía del NCAP asociada a la lesión del nervio radial se desconoce probablemente porque rara vez se ha investigado de forma rutinaria. Pero actualmente, ya se empiezan a realizar estudios de conducción nerviosa del NCAP que pueden ser útiles en el diagnóstico de estas posibles neuropatías (66).

En la extremidad superior se han constatado diferentes compresiones sobre los nervios cutáneos periféricos que pueden suceder a lo largo de su recorrido como consecuencia de interacciones con el tejido conectivo y la fascia que lo rodea. Así, podemos destacar el síndrome de Watenberg, que es una neuropatía compresiva poco habitual debida al atrapamiento de la rama superficial cutánea del nervio radial (67), las causas de este atrapamiento pueden ser una compresión por un anillo fascial anómalo, o bien por los músculos BR y ERLC (68). También, aunque de manera poco frecuente, se describe la compresión del nervio cutáneo antebraquial lateral en su paso a través de la fascia antebraquial superficial (69), así como, en el margen lateral del tendón del bíceps braquial (70). El nervio cutáneo antebraquial medial puede verse comprometido por pequeños traumas (movimientos repetitivos en los que el codo se encuentra en extensión máxima y se realizan contracciones bruscas de la musculatura flexora) que pueden ser frecuentes en algunas actividades profesionales como, por ejemplo, los intérpretes de algunos instrumentos musicales (71).

No obstante, para un mejor entendimiento de los mecanismos fisiopatológicos que hay detrás del atrapamiento nervioso periférico debemos conocer de una manera más profunda el tejido conectivo y miofascial que los rodea. Comprendiendo su estructura y función nos facilitará ser más precisos en el diagnóstico y abordaje terapéutico.

D) LA FASCIA de la EESS

Si bien el origen embriológico del esqueleto óseo y del sistema muscular ofrece pocas dudas, el origen y la disposición de la red fascial que los une todavía está poco clara (72,73). Además, la nomenclatura del tejido fascial no siempre refleja su función u origen embriológico, al igual que la nomenclatura anatómica no corresponde necesariamente al verdadero origen embriológico de un determinado tejido. Por lo tanto, la definición de tejido fascial merece una reconsideración, teniendo en cuenta su desarrollo embriológico y su funcionalidad clínicamente relevante (74). En los textos de anatomía del siglo XIX, los autores a menudo la definían como un tejido indiferenciado que envuelve los tejidos más especializados, en forma de material de embalaje. La inherente implicación de esta visión tradicional es que las fascias son residuos insignificantes y son menos importantes que los tejidos con los que se asocian.

Cada vez más, resultan evidentes los errores de este enfoque clásico y, sin duda, la fascia es de gran importancia hoy día para muchos profesionales de la salud como cirujanos, fisioterapeutas, ortopedas, osteópatas, masajistas y otros profesionales que trabajan en disciplinas relacionadas (1). Para el anatomista, la “*fascia*” también puede ser el llamado tejido conectivo laxo, denso, o una combinación de ambos. Así mismo, el tejido conectivo intermuscular (epimisio), que delimita los músculos (75), también es considerado fascia. Así pues, la fascia no solo es un tejido de recubrimiento de superficies, sino que también está intrincado entre las diferentes estructuras anatómicas. Recientemente se está prestando más atención a la biomecánica fascial, por el interés en comprender mejor la fisiopatología del dolor músculo-esquelético (75).

La concepción de la interacción entre músculo y hueso de acuerdo con la descripción anatómica convencional ofrece un modelo de movimiento puramente mecánico. Separa el movimiento en funciones diferenciadas, sin llegar a transmitir e interpretar la idea de integración y acción ininterrumpida que se observa en un cuerpo vivo. Cuando una parte

se mueve, el sistema reacciona como un todo. A nivel funcional el único tejido capaz de mediar en esta reacción es el tejido conectivo, es decir la fascia (72,76). Sus principales características biomecánicas son elasticidad, viscosidad, plasticidad y resistencia (77)

La fascia probablemente contiene muchas de las claves para comprender la acción muscular y el dolor músculo-esquelético, y tal vez tenga una importancia fundamental para comprender las bases de la acupuntura y una amplia gama de terapias alternativas (1,78,79).

D.1 HISTOLOGÍA DE LA FASCIA

El conocimiento histológico detallado de la fascia permite también una mejor comprensión de sus funciones (80) puesto que la variabilidad en la composición histológica del tejido conjuntivo contribuye a optimizar sus funciones y propiedades específicas (81). Las células que componen este tejido conjuntivo están formadas por fibroblastos, miofibroblastos, células adiposas, mastocitos y macrófagos (82,83). Estas células introducen una amplia variedad de sustancias estructuralmente activas en el espacio intercelular que incluyen, entre otras, colágeno, elastina, fibras de reticulina y unas proteínas interfibrilares conocidas como sustancia fundamental (proteoglicanos) (72). De todas ellas, las células más interesantes son los fibroblastos, ya que secretan dos proteínas fundamentales: la elastina y el colágeno que forman mayoritariamente la matriz extracelular. Son células que muestran una capacidad de remodelación y respuesta a diferentes estímulos mecánicos (82,83). También existen evidencias de células contráctiles en la fascia, los miofibroblastos, que sugieren que la fascia pueda contraerse activamente de forma similar al músculo liso (84). Aunque, la importancia de esta propiedad contráctil sigue siendo una hipótesis (85).

La matriz extracelular es el conjunto de materiales extracelulares que forman parte del tejido conectivo, cuyos principales componentes son las fibras de elastina y colágeno:

- La elastina proporciona la elasticidad del tejido fascial, permitiendo una elongación del 150% de la medida inicial de la fibra, recuperando posteriormente su forma inicial (86). Son largas y finas y se anastomosan entre sí (77).

- El colágeno es la proteína que más abunda en el tejido fascial representando un 60-70% de la masa del tejido conjuntivo (77). Su estructura de triple hélice le permite al tejido conectivo la capacidad de resistencia al estiramiento (87,88). Son muy poco extensibles y se encuentran siempre agrupadas en fascículos en los tejidos (77). Facilita que el tejido se ajuste cuando existe una carga de compresión (86).
- La fibra reticular (constituida por colágeno tipo III trimérico) se observa principalmente en estado embrionario del tejido fascial, va siendo reemplazada gradualmente por colágeno y junto con éste determinan el deslizamiento de las fascias (89). Poseen la misma estructura que las fibras de colágeno (77). Participan en la formación del andamiaje celular del tejido conectivo laxo relacionado con el endoneuro, las paredes vasculares y el músculo liso (87,90).
- La sustancia fundamental es un material heterogéneo cuya viscosidad va desde el estado líquido al estado semilíquido, producida en parte por las células del tejido (77). Está constituida principalmente por largas moléculas hidrofóbicas de proteoglicanos y glucosaminoglucanos (ácido hialurónico) suspendidas en un medio con gran proporción de agua. La combinación de agua y ácido hialurónico facilita la lubricación entre las fibras de colágeno e incrementa su viscosidad (91). El ácido hialurónico se sitúa entre las diferentes capas fasciales y el músculo para facilitar su deslizamiento y lubricación (92), también se distribuye en el tejido conectivo perivascular y perineural (93). La sustancia fundamental es el medio de transmisión de la información entre las células y los sistemas humoral y nervioso. A través de ella se efectúan los intercambios metabólicos entre las células y la sangre. Esta sustancia se modifica por cualquier trastorno funcional de los tejidos (77).

D.2 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN

Desde la piel a planos más profundos nos encontramos con el tejido adiposo subcutáneo también conocido como la fascia superficial (94), que queda dividido en dos capas fibroadiposas por la presencia de una capa de tejido conectivo entre ellas. Más profundamente se encuentra la fascia profunda, también denominada por algunos

autores fascia muscular profunda (95), en el brazo corresponde a la fascia braquial y en el antebrazo a la fascia antebraquial. La fascia profunda envuelve todos los músculos del cuerpo y muestra diferentes características según la región (94). Pero, además existe tejido conectivo laxo que conecta el tejido adiposo a la piel y a la fascia de la EESS, creando la red tridimensional entre los lóbulos de grasa (94).

Para comprender la organización subdérmica y las diferentes capas, se debe considerar el cuerpo humano como un todo y pensar en una organización común. Las disecciones sobre cadáver fresco capa por capa, reveló que la subdermis está dividida por láminas fibrosas en subcapas, cada una con características distintas. La terminología anatómica define la fascia como una vaina, lámina o cualquier otro número de agregaciones diseccionables de tejido conectivo (95). En este estudio, seguiremos la clasificación descriptiva realizada por *Stecco (2014)*, ya que podemos encontrar diferente nomenclatura en las categorías fasciales, pudiéndose dividir tanto por su función (85), como por sus características anatómicas.

D.2.1 Tejido Adiposo

También conocido como tejido celular subcutáneo (1), está formado por dos subcapas, la superficial se conoce como "tejido adiposo superficial" (TAS), la profunda como "tejido adiposo profundo" (TAP) y la lámina fibrosa en el medio como fascia superficial. A todo este conjunto se le llama fascia superficial (96).

La fascia superficial se compone principalmente de tejido adiposo y tejido conectivo laxo (1). Las subcapas están estructuradas uniformemente con características que difieren según la región del cuerpo. En algunas partes el tejido fibroso es prevalente, y en otros predomina el componente adiposo (95).

La fascia de las EE está conectada a la piel (retináculo cutis superficialis) y a la fascia del músculo (retináculo cutis profundus) por septos fibrosos que ofrecen propiedades mecánicas específicas al tejido subdérmico (97). El TAS y TAP difieren en grosor, forma, en la disposición de los lóbulos adiposos y tabiques fibrosos. Las fibras del retináculo superficial son perpendiculares, mientras que en el profundo normalmente son más oblicuas y delgadas, creando este último una clara separación entre las fascias (Fig. 3) (95). En la extremidad inferior el TAS es más grueso que en la superior, los

lóbulos adiposos son sobre todo circulares y sus septos bien definidos generalmente perpendiculares (95).

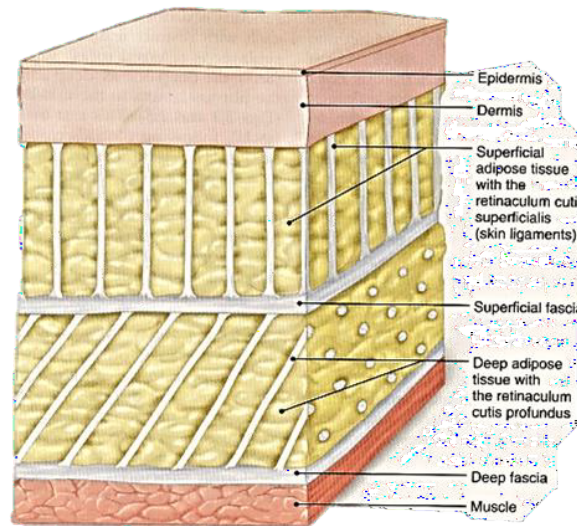


Fig. 3. Organización del tejido subcutáneo. Disposición del TAS (tejido adiposo superficial) y TAP (tejido adiposo profundo). Se observa una orientación vertical de los retináculos entre la fascia superficial (FS) y la dermis, mientras que entre la FS y la fascia profunda la orientación es más oblicua. Adquiriendo de esta forma, propiedades mecánicas específicas. Basado en Stecco C, et al. 2015 (95).

El tejido adiposo conduce los vasos y los nervios desde la piel y hasta ella y promueve el movimiento entre la piel y las estructuras subyacentes (1). Forma compartimentos especiales alrededor de las venas principales subcutáneas de las extremidades (98). Se desdobra envolviendo la vena, dando la sensación de estar compuesta por más de una capa (95), con septos fibrosos que se extiende para unirse a las paredes de las venas (98). La fascia superficial puede jugar un papel en la integridad de la piel y soporte de estructuras subcutáneas particularmente venas y vasos linfáticos, (98,99) siendo el punto de partida de los vasos linfáticos, por lo tanto, desempeña un papel en la nutrición y respiración celular (77). Se ha demostrado que existe una vía de baja resistencia a través de las fibras del tejido conectivo donde se realiza el movimiento de fluido transintersticial desde los capilares a los vasos sanguíneos. De esta forma se puede concluir que las alteraciones del tejido adiposo pueden comprometer la dinámica de estos fluidos (100).

La inervación del tejido adiposo informa principalmente de la distensión y compresión de los tejidos. Encontramos corpúsculos de Pacini (presión profunda) y de Ruffini (presión sostenida y fuerzas tangenciales) (95,101,102). Puede ser necesario aplicar presiones profundas y sostenidas en nuestros tratamientos para afectar este tejido fascial (85).

El tejido adiposo puede también denominarse funcionalmente fascia separadora, como ya se ha mencionado anteriormente, y su componente principal viene dado por las fibras elásticas y reticulares, con pequeñas cantidades de colágeno (87). Las fibras elásticas son las que forman esta red tridimensional (88) junto a los lóbulos de grasa (95), permitiendo el estiramiento, distensión (88) y el anclaje dinámico de la piel a los tejidos subyacentes (adaptándose a fuerzas multidireccionales) (95). El TAS forma una sólida estructura entre la piel y la fascia superficial, se entiende que protege contra fuerzas externas, mientras que TAP forma una capa móvil que lo aísla del movimiento músculo-esquelético (Fig. 4) (103).

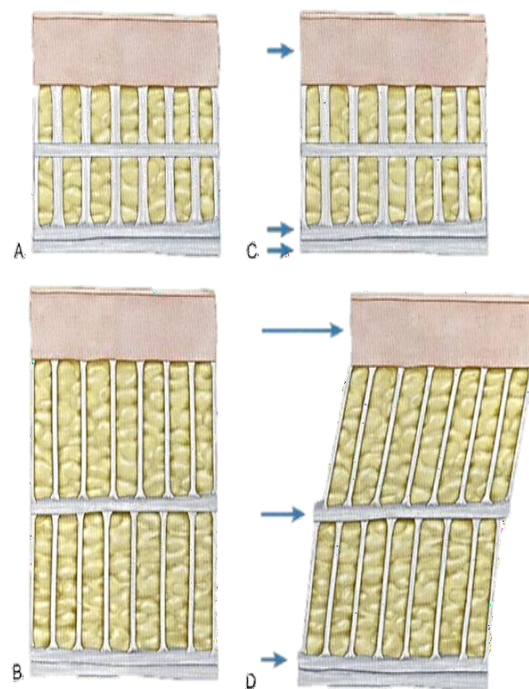


Fig.4. En la imagen observamos el espacio delimitado entre la dermis y la fascia profunda (FP), que comprende la fascia superficial (FS). Vemos la mecánica del retináculo superficial y profundo, permiten la movilidad de la piel contra los planos subyacentes. Las flechas azules indica la tensión desarrollada en

las distintas capas como consecuencia del estiramiento de la piel. (A y C) los retináculos son cortos y gruesos. Transmiten las tensiones a la piel en los planos más profundos (C). (B y D) los retináculos son más alargados y finos. Este tipo absorbe el estrés mecánico, por lo que las tensiones cutáneas no se transmiten a la fascia profunda (D). Del mismo modo la contracción muscular no afecta la piel. Basado en Stecco C, et al. 2015 (95).

D.2.2 Fascia Braquial y Antebraquial

La fascia de la extremidad superior braquial y antebraquial, está formada principalmente por tejido conectivo denso (23,104), siendo los fibroblastos las células dominantes. Todas las formas de fascia contienen colágeno y elastina, pero éstas adquieren mayor densidad por el mayor número de fibras de colágeno (23). Esta fascia conecta diferentes elementos del sistema músculo-esquelético y transmite las fuerzas musculares a distancia.

Stecco C, denomina a esta fascia braquial y antebraquial fascia profunda del brazo y del antebrazo y define que existen dos tipos principales de fascia profunda (Fig. 5):

- Las fascias aponeuróticas que son vainas o envolturas fibrosas están bien definidas, cubren y mantienen en su lugar un grupo de músculos, y a su vez sirven de inserción para los músculos anchos (105). La fascia aponeurótica puede continuar con el periostio, el paratendón, la vaina neuro-vascular y las cápsulas fibrosas articulares. Estos elementos pueden ser considerados como especializaciones de la fascia profunda (95).
- Las fascias epimisiales, del término "epimysial fasciae" se refiere a todas las capas de colágeno delgadas bien organizadas que están fuertemente conectadas con los músculos, es específica para cada músculo y define su forma y volumen. La fascia epimisial es más delgada que la aponeurótica y su rango de acción es más localizado (95).

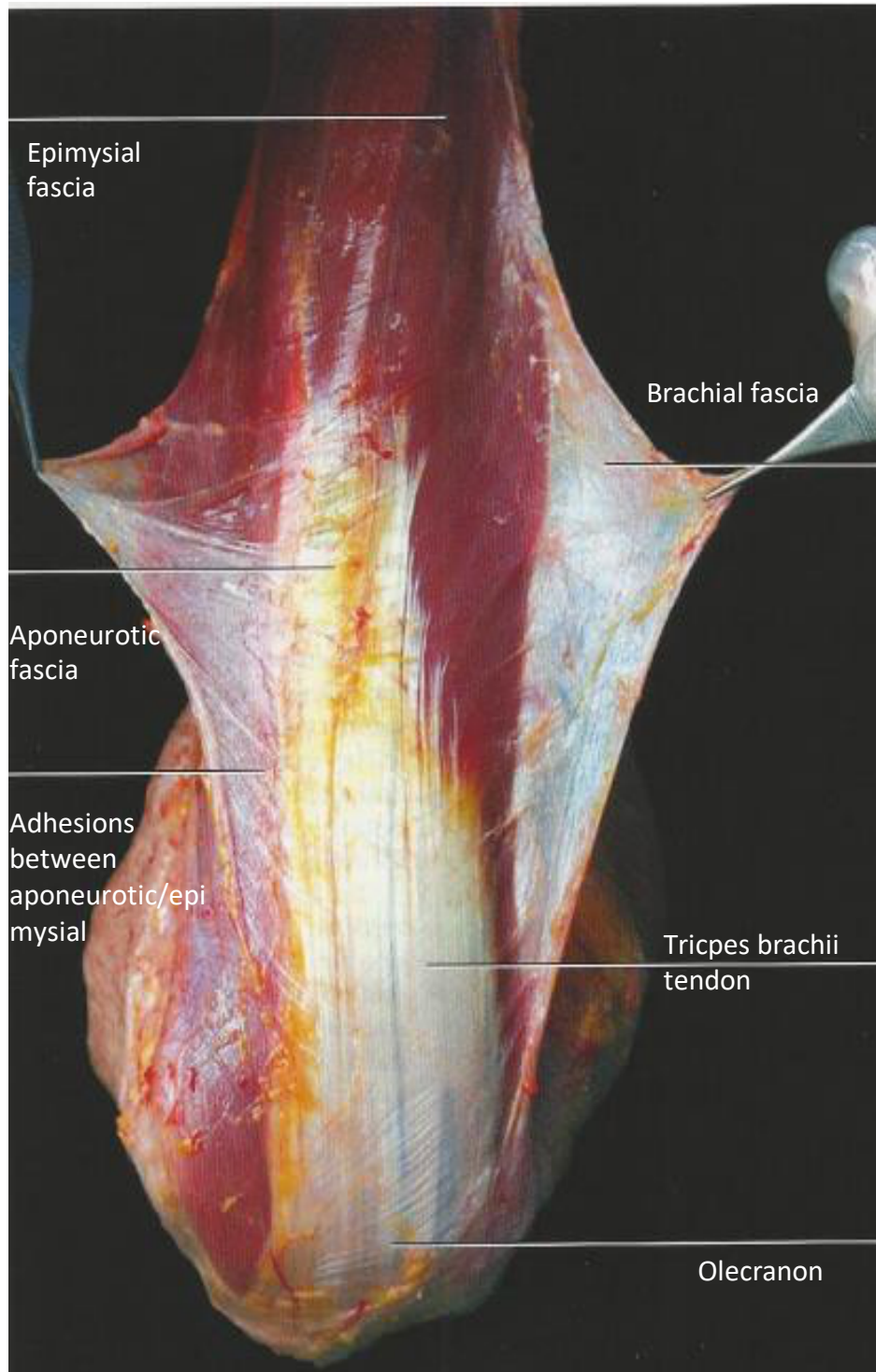


Fig.5. Visión posterior del brazo, en la que vemos la fascia aponeurótica posterior del brazo (fascia braquial). Esta fascia aparece como una capa fibrosa bien definida, fácil de desprender de los músculos subyacentes. El músculo tríceps braquial está envuelto por el epimisio, que define la forma del vientre muscular y asegura la autonomía en su contracción. Encontramos tejido conectivo laxo entre la fascia aponeurótica y el epimisio y sobre el tendón. Basado en Stecco C, et al. 2015 (95).

La fascia profunda también se puede dividir desde el punto de vista funcional, en dinámica, aquella fascia de revestimiento muscular individual y la fascia del tronco, y pasiva, que se encuentra en los puntos de inserción muscular, enlaces articulares y arcos aponeuróticos (85), pueden envolver varios músculos y conectarlos (95). Viendo estas clasificaciones, podríamos decir que la fascia dinámica corresponde a la fascia epimisial (descrita en la clasificación realizada por Stecco C.) (95).

Por debajo de la fascia aponeurótica los músculos pueden deslizarse libremente, debido al tejido conectivo laxo que encontramos entre ellos, y el epimisio (fascia de recubrimiento del músculo). Aunque no es el motivo de estudio en esta tesis, las capas intermedias que nos encontramos tanto en la fascia superficial como en la profunda, nos hacen pensar que una de sus funciones principales es favorecer el deslizamiento de los tejidos unos sobre otros, y de las estructuras que hay en su interior (vasos, nervios, etc.) (95,106).

La fascia profunda tiene una rica innervación vascular, en el caso de la fascia braquial está localizada entre las capas fasciales profundas y superficiales (107). A su vez, la fascia profunda también tiene una abundante innervación con terminaciones nerviosas libres y receptores encapsulados que responden a la presión y vibración rápida (104). Algunas de las fibras nerviosas asociadas con la fascia son adrenérgicas y es probable que participen en el control del flujo sanguíneo local, aunque otras pueden tener una función más de tipo propioceptiva. A pesar de los estudios la información al respecto es todavía incompleta, es probable que existan diferencias regionales según la importancia funcional (1).

Este tejido contiene una sustancia gelatinosa flexible rica en ácido hialurónico, que contiene fibroblastos ampliamente dispersos. El ácido hialurónico tiene una acción lubricante, ya que lo encontramos entre las subcapas de la fascia aponeurótica y entre la fascia epimisial (fascia profunda) y el músculo subyacente. Incluso en el músculo esquelético el ácido hialurónico está presente en el epimisio, perimisio y endomisio (108,109). Cambios en su proporción contribuyen al dolor, inflamación y pérdida de la función (110). Las capas fasciales son capaces de producir este componente, los

traumatismos sobre el tejido muscular hacen que la fascia suprayacente no produzca ácido hialurónico, dificultando de esta manera el deslizamiento (111).

D.3 DISTRIBUCIÓN DE LAS FASCIAS EN LA EXTREMIDAD SUPERIOR

En los estudios llevados a cabo por *Stecco C et al.*, observaron que existían patrones miofasciales específicos constantes en los músculos del miembro superior. A nivel proximal la parte clavicular y costal del músculo pectoral mayor envía expansiones a la aponeurosis braquial (Fig. 6) (112).

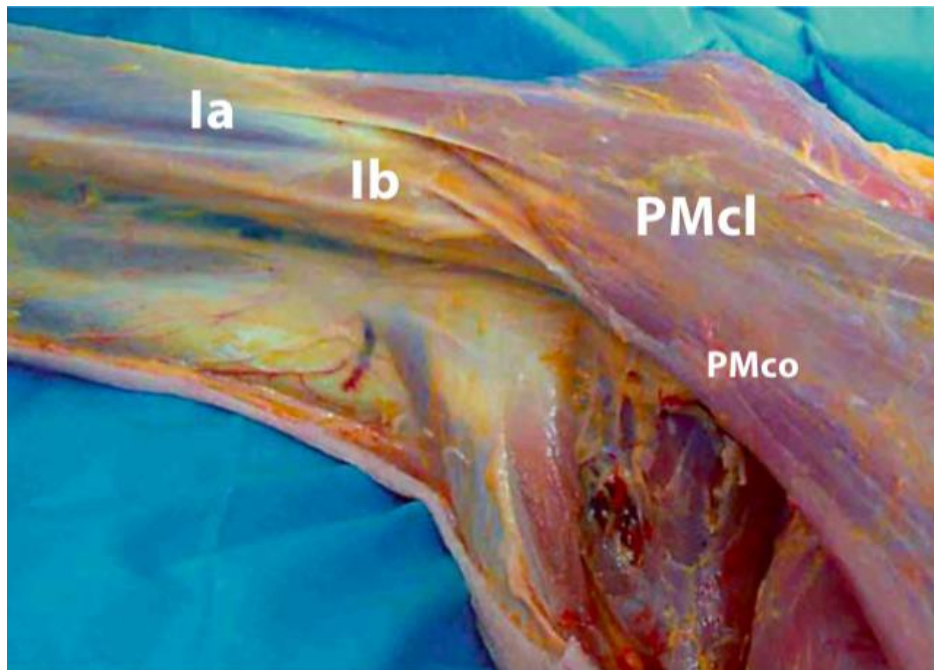


Fig.6. Discción de la región antero-medial del hombro. Se observan los patrones miofasciales específicos del músculo pectoral mayor sobre la fascia braquial. Muestra las expansiones fibrosas de la porción clavicular del músculo pectoral mayor (PMcl) hacia la fascia braquial anterior (Ia) y las expansiones fibrosas de la parte costal del músculo pectoral mayor (PMco) hacia la fascia braquial medial (Ib). Basado en Stecco C, et al. 2008 (113).

En el brazo encontramos la fascia braquial a continuación de la fascia del hombro. La fascia braquial termina en el codo y en su parte anterior recibe la expansión del tendón del bíceps, que es un verdadero tensor de la fascia. La fascia antebraquial es la continuidad de la braquial, y termina en la muñeca donde es reforzada por los retináculos anulares anterior y posterior. La fascia antebraquial es más gruesa por la parte posterior que anterior y recibe expansiones tanto del músculo bíceps, como del braquial anterior y tríceps. (77).

La estructura miofascial garantiza una continuidad perceptiva y direccional a lo largo de una cadena miocinética específica, actuando como una correa de transmisión entre dos articulaciones adyacentes (114).

La fascia profunda emite unos tabiques que se dirigen al periostio para compartimentar el brazo y el antebrazo (1). En el brazo, el tabique externo es el TIL, que separa los músculos del compartimento posterior del anterior y también sirve de origen a fibras musculares (1).

La fascia profunda también permite el origen de algunos músculos (función que se lleva a cabo junto con los huesos de la zona y los tabiques intermusculares). En el caso del codo esta función compartida toma un mayor protagonismo. La fascia profunda permite la inserción de varios músculos que están en relación con el epicóndilo lateral y medial, ampliando la superficie de inserción muscular (1,94). Estos músculos se unen entre sí a través de la fascia, apiñándose en una superficie limitada de hueso (1). Claramente, el área de hueso proporcionado por el epicóndilo lateral es insuficiente para unir los numerosos músculos de la parte posterior del antebrazo.

Las inserciones músculo-tendinosas sobre la fascia, mantienen una tensión fascial basal creando una continuidad miofascial (115), esto se da entre los diferentes grupos musculares que actúan en los movimientos de flexo-extensión del miembro superior, estirando la fascia en diferentes sentidos según el movimiento (115). Existen expansiones miofasciales particulares, con patrones casi constantes en la extremidad superior (112) que forman las cadenas de movimiento o unidades funcionales.

D.4 FUNCIÓN DE LA FASCIA

La fascia permite la integridad anatómica del individuo, gracias a ella las articulaciones pueden conservar su estabilidad y función. El sistema muscular es el motor de las articulaciones, pero a su vez coordinado por la mecánica fascial (77). Como se ha comentado en el anterior apartado, los músculos tienen extensas uniones a los ligamentos y las fascias, que promueven la contracción como una unidad coordinada (1). Lo que consideramos como músculos, desde una perspectiva anatómica, no pueden considerarse unidades que por sí solas coordinan el movimiento y que controlan fuerzas y momentos (116). Esta idea de continuidad se puede extender entre los músculos agonistas y antagonistas (están acoplados mecánicamente a través de la fascia) (117).

Se puede afirmar que la tensión de los músculos no solo se transmite en dirección al tendón, sino también al tejido conectivo, dentro y fuera del propio músculo esquelético (118). Se cree que un 70% de la tensión es recibida por los tendones y un 30% por las fascias (94). En definitiva, las fascias complementan y contribuyen a coordinar la acción muscular.

Entre las distintas funciones fasciales, sobre todo de la fascia profunda, se encuentran: la integración de los compartimentos musculares (94), transmitiendo las cargas entre ellos (1,94), dado que esta función se produce junto al hueso asociado también se denominan compartimentos osteofasciales (1). Debido al carácter inflexible de la fascia profunda, puede también servir como medio para contener y separar grupos musculares estableciendo “compartimentos” (1).

Otras funciones que podemos encontrar son:

- Protección y amortiguación de las cargas que sufre el cuerpo (77).
- La fascia profunda contribuye a la nocicepción y propiocepción corporal (85).
- Función hemodinámica principalmente en los vasos linfáticos y venosos (77).
- Papel de defensa, de comunicación e intercambio y bioquímico (77).

D.4.1 Disfunción de la fascia

La fascia, como ya se ha descrito anteriormente, está presente en todos los componentes de los órganos y sistemas del cuerpo: vascular, neurológico, visceral, etc. Cualquiera que sea la afección del organismo, la fascia se verá implicada en mayor o menor medida (77). Por ello, se puede encontrar disfunción fascial en las zonas donde se realizan movimientos repetitivos (como sucede en el caso del codo), también en las lesiones musculares mantenidas en el tiempo (1,119) y sobre los puntos donde se ejerce mayor tensión muscular (1). En estas situaciones se ve modificada la viscoelasticidad fascial y, a su vez, hay una disminución del deslizamiento entre las diferentes capas fasciales. Además, pueden alterarse por otras causas como: traumatismos, cirugía, diabetes y envejecimiento (119).

Las patologías y/o disfunciones fasciales que más interesan a los terapeutas manuales, son: cicatrices, adherencias y fijaciones.

A largo plazo, las disfunciones fasciales crean irritaciones y fijaciones que a su vez perturban la mecánica articular o visceral. En un primer momento determinan síntomas

llamados funcionales, puesto que a menudo tienen manifestaciones subclínicas, sin expresión radiológica o bioquímica (77). Además, la fascia siempre está sujeta a tensiones de remodelación que responden al estado mecánico local, modifica su consistencia y la disposición espacial de las fibras. La reconstrucción en la mayoría de los casos será patológica (119).

Pavan et al., clasifican estos cambios patológicos fasciales en dos grupos, densificación y fibrosis:

- **Densificación fascial:** se provoca por el movimiento excesivo. Se genera una alteración en el tejido conectivo laxo dentro de la fascia profunda, fácilmente reversible mediante terapia manual devolviendo las propiedades de la matriz extracelular con un aumento de la temperatura y de la tensión local (119). En este grupo entrarían los pacientes que realicen movimientos repetitivos de la extremidad superior por su profesión o actividad deportiva (son la mayoría de los pacientes que nos encontramos en consulta).

- **Fibrosis fascial:** es la consecuencia de un aumento de fuerzas ejercidas sobre la fascia durante un tiempo prolongado, en el cual el tejido conectivo regula activamente la matriz en respuesta al estiramiento (111). También puede provocarse por: traumatismos, cirugía y diabetes. Esta alteración es más difícil de modificar debido a que solo un nuevo proceso inflamatorio puede destruir estas fibras patológicas de colágeno, permitiendo la formación de otras nuevas (119).

Otra de las disfunciones que se pueden encontrar son las adherencias, como consecuencia de una inflamación, infección o cicatriz (en este caso operaciones de húmero). Las adherencias, no obstante, se producen con más facilidad en tórax y abdomen (77).

A su vez, las disfunciones fasciales pueden provocar alteraciones en la coordinación mecánica, propiocepción y equilibrio, originando dolor miofascial y calambres (120). Pueden propagar señales nociceptivas en situaciones de estiramiento fisiológico normal (114), si bien la función principal de la fascia superficial es permitir el deslizamiento entre los tejidos, también puede formar adherencias a partir de patrones de movimiento defectuoso o de lesiones (106). Aunque las disfunciones que más podemos encontrar en

la fascia superficial vienen relacionadas con el sistema linfático, venoso superficial y la termorregulación (120).

E) ESTUDIO ECOGRÁFICO DEL NERVIO RADIAL Y NERVIO CUTÁNEO ANTEBRAQUIAL POSTERIOR

La ecografía se ha utilizado como método complementario para el diagnóstico de la epicondilitis lateral, a la vez proporciona información sobre la gravedad de la enfermedad. Entre otros, el estudio ecográfico evidencia el engrosamiento del tendón (áreas locales de ecogenicidad disminuidas en el tendón), la formación de espolones en la cortical, o un aumento de la vascularización en casos de inflamación (representada por imagen de ecografía Doppler) (121,122).

Del mismo modo, tanto el nervio radial como el NCAP pueden evaluarse mediante ecografía (32,123). Por lo general la evaluación diagnóstica del sistema nervioso periférico viene dada por la historia clínica del paciente y un minucioso examen físico, pero a menudo se requieren pruebas neurofisiológicas para poder evaluar con precisión el estado del nervio involucrado (55). No obstante, la ecografía se ha convertido actualmente en una herramienta de primera línea en la evaluación de los nervios periféricos de la extremidad superior (124) por diferentes motivos:

- Por la distribución anatómica variable que tienen estos nervios cutáneos (125,126).
- La visualización detallada del tejido circundante al nervio (124,127), como puede ser, músculos, fascias, tendones, tabiques, etc.
- Por la posibilidad de obtención de imágenes dinámicas en tiempo real, comparándolas con estructuras contralaterales que pueden facilitar el diagnóstico (128).

Diferentes investigaciones subrayan la viabilidad en la utilización de la ecografía para detectar y evaluar los nervios principales y sus ramas (129,130), Asimismo, la sensibilidad y especificidad de la ecografía en el diagnóstico de síndromes de compresión nerviosa en el miembro superior ha demostrado ser comparables con los estudios de conducción nerviosa (131). De esta manera, la ecografía se está convirtiendo

en un complemento del electromiograma para la evaluación y diagnóstico de los nervios periféricos (124,128,132).

Además, el desarrollo de la ecografía y la elastografía (derivada de la primera) proporcionan a los médicos un método adicional para detectar y mostrar la rigidez relativa del tejido abriendo una serie de oportunidades en el diagnóstico (133). Del mismo modo, la ecografía puede ayudar a enseñar el papel de la palpación en la anatomía funcional, este método se conoce como sonopalpación (133). Y así, la sonopalpación también puede ser de utilidad en el seguimiento de la respuesta del tejido a la terapia y su pronóstico de recuperación (55)

Por otro lado, la ecografía permite la detección del tejido circundante, y así visualizar disfunciones en la fascia profunda y superficial, como pueden ser: irregularidad, sombras, homogeneidad, reflectividad y densidad (134,135).

La ecografía también es un medio preciso, fiable y no invasivo para evaluar el tamaño, forma y arquitectura de los músculos (136). Puede incluso utilizarse para demostrar la inflamación que presenta el nervio, proximal al lugar de atrapamiento (128,132). Por lo tanto, representa una valiosa herramienta en la detección de las posibles implicaciones diagnósticas y terapéuticas a seguir (124, 129, 130). En consecuencia, es una técnica de radiodiagnóstico de gran importancia en el diagnóstico de compresiones nerviosas periféricas, ya no solo por proporcionar la imagen directa del nervio, sino también por la detección de este tejido conectivo que lo rodea y que puede ser el causante de la compresión. Por todas estas ventajas se está convirtiendo en un componente cada vez más importante en especialidades músculo-esqueléticas, rehabilitación y medicina del deporte (55).

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS

Nuestra hipótesis es que un conocimiento ecográfico y anatómico del trayecto del nervio radial y del nervio cutáneo antebraquial posterior pueden contribuir a entender una compresión periférica en el recorrido del nervio, entre los compartimentos anterior y posterior del brazo y la musculatura epicondílea que podría dar lugar a patologías que involucren el territorio póstero-lateral de brazo y antebrazo.

Consecuentemente, el abordaje manual del nervio, sobre el tejido miofascial y conectivo, debería ir encaminado a mejorar el deslizamiento tanto del nervio radial como del nervio cutáneo antebraquial posterior.

OBJETIVOS

OBJETIVOS

OBJETIVOS PRINCIPALES

1. Estudio ecográfico y anatómico del nervio radial y el nervio cutáneo antebraquial posterior para establecer los puntos donde los nervios son susceptibles a compresión debido a sus relaciones miofasciales y del tejido conectivo.
2. Proporcionar una base anatómica para el diagnóstico diferencial y el abordaje manual del dolor lateral del brazo y antebrazo.
3. Establecer la reproducibilidad y la idoneidad del examen ecográfico para la localización de tales puntos de probable compresión.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la sensibilidad de la técnica ecográfica en la localización de los NR y NCAP en su recorrido sobre los puntos a estudiar.
- Describir las posibles referencias anatómicas para su mejor localización durante la exploración ecográfica.
- Proporcionar las referencias anatómicas del NR/NCAP sobre las estructuras del brazo y antebrazo en los puntos a examinar.
- Estudiar la variabilidad dimensional absoluta y relativa que podamos encontrar entre las diferentes estructuras y las relaciones con las estructuras adyacentes.
- Describir los patrones de ramificación que nos podemos encontrar en el NCAP.
- Establecer una referencia en el diámetro del NR en los puntos establecidos, al igual que el espesor del tabique lateral del brazo.
- Describir el tejido que rodea el NR/NCAP en su descenso y como puede influenciar sobre la neuropatía periférica.
- Diseñar un protocolo de abordaje manual en relación con los hallazgos encontrados.

MATERIAL Y MÉTODO

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en 19 extremidades superiores con la articulación escápulo-humeral criopreservadas (9 derechos y 10 izquierdos), provenientes de 15 donantes (9 mujeres y 6 hombres, con un rango de edad de 68-91 años) al servicio de Donación de Cuerpos a la ciencia y la Sala de Disección de la Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud (Campus Bellvitge) de la Universidad de Barcelona. Se descartaron todas aquellas muestras con cicatrices o evidencia de intervenciones quirúrgicas previas.

Cada espécimen fue etiquetado detalladamente, haciendo referencia al lado, edad y sexo del donante. Todos los procedimientos descritos en este estudio fueron aprobados por el Comité de Bioética de la Universidad de Barcelona (IRB00003099). Siguiendo las directrices y normativas pertinentes. Por otro lado, el Servicio de Donación de Cuerpos y Sala de Disección de la Facultat de Medicina i Ciències de la Salut (Campus Bellvitge) de la Universitat de Barcelona cumple con todos los requisitos legales y éticos.

El estudio se inició con un examen ecográfico y posteriormente se siguió con el estudio anatómico. En ambos se analizó con detalle el recorrido del nervio radial y nervio cutáneo antebraquial posterior en su descenso por el miembro superior y su relaciones con otras estructuras anatómicas como músculos y fascias. De manera sistemática se obtuvo iconografía tanto ecográfica como anatómica, anotando los hallazgos anatómicos observado en el desarrollo de la disección y las mediciones de diferentes distancias definidas previamente.

ESTUDIO ECOGRÁFICO

El examen ecográfico fue realizado por un profesional, con más de 10 años de experiencia en el estudio ecográfico músculo-esquelético, utilizando un equipo General Electric logiq P5 (Medical Systems, USA), con un transductor lineal de alta frecuencia (5-12MHz).

Para el estudio ultrasonográfico se colocó el miembro superior de manera que se exponía la cara lateral del brazo con el antebrazo en pronación y flexión de codo 90°. Para comprobar la precisión de la ecografía y correlacionarla con los hallazgos en la disección anatómica posterior, se realizaron una serie de infiltraciones guiadas por

ecografía. Estas infiltraciones se realizaron con una jeringa de 1 mL y una aguja 25-G para inyectar de 0,01 a 0,05 mL de tinta verde o roja (colorante CLQ-540) adyacente al trayecto del nervio.

Para localizar las regiones de interés el abordaje ecográfico se inició por la parte posterior del brazo, con la sonda orientada en el eje corto. Se localizó el NR en contacto con el húmero y se siguió en el túnel radial y distalmente en el punto donde se producía la división del NR en su rama motora y sensitiva, siguiéndose la rama motora hasta alcanzar el músculo supinador. Posteriormente, se observó la división del NCAP del NR y distalmente se localizó la salida del NCAP de la fascia del brazo al tejido celular adiposo o subcutáneo.

Se inyectó tintura en los siguientes puntos:

- Ubicación del NR cuando atraviesa el TIL.
- Punto donde el NCAP atraviesa la fascia del brazo para hacerse superficial (subcutáneo).
- Localización de la rama motora del nervio radial al atravesar el músculo supinador (Tabla 2,3) (Fig. 7).

Posteriormente, se tomaron las distancias desde los puntos de infiltración hasta el epicóndilo lateral (como punto de referencia superficial). Se midieron los puntos con un calibrador digital, calculando el valor medio de tres medidas consecutivas en cada uno de los puntos estudiados.

ESTUDIO ANATÓMICO

Tras el estudio ecográfico se realizó la disección anatómica. Para facilitar la disección se dividió en dos etapas:

- Etapa inicial donde el estudio se centró en el recorrido del nervio cutáneo antebraquial posterior, situado en un plano superficial.
- Etapa final donde se focalizó el recorrido del nervio radial. Al situarse en un plano más profundo, la disección inicial no interfirió en el recorrido del nervio radial y sus relaciones con las estructuras colindantes, respetando la integridad del tejido que lo envolvía en su recorrido.

La posición de la extremidad superior para la disección anatómica fue la misma utilizada para el estudio ecográfico, por lo tanto, la medición de las diferentes distancias se tomó en la misma posición anatómica.

La disección del brazo se inició desde la zona proximal hasta la distal con una incisión longitudinal clásica superficial desde la V deltoidea hasta el epicóndilo lateral por la cara lateral del brazo (centrado sobre el TIL) y desde el epicóndilo lateral hasta la muñeca (línea media cara dorsal del antebrazo). Así mismo se realizaron dos incisiones transversales en codo y muñeca para poder proceder a la disección de la zona (a modo de libro abierto). Después, se disecó por capas el tejido adiposo subcutáneo y la fascia superficial, para la localización NCAP hasta llegar a la exposición de la fascia braquial/antebraquial.

Al identificarse el NCAP en su totalidad (incluidas sus ramas distales) primero se localizó el tinte inyectado en ecografía, para después medir el diámetro sección transversal del NCAP y distancias de los puntos definidos por importancia clínica y anatómica y se estudiaron los tejidos conjuntivos y fascial circundantes. (Tabla 2) (Figura 7). Todas las distancias se tomaron desde el epicóndilo lateral como punto de referencia óseo.

La segunda etapa de la disección se focalizó en el nervio radial, identificando el nervio en el surco espiral del codo y se estudiaron con detalle los tejidos circundantes (músculo-fascial y tejido conectivo) que rodeaban al nervio en este recorrido hasta su paso a través del tabique intermuscular lateral del brazo. Más distalmente, se identificó y estudió el paso del nervio por el surco bicipital lateral, y la relación del nervio con los músculos braquioradial y braquial.

Posteriormente, a nivel del antebrazo se localizó e identificó desde la posición más distal a la más proximal los músculos braquioradial, extensor radial largo del carpo y extensor radial corto del carpo, exponiendo el tabique lateral del antebrazo y el arco del supinador, (punto donde el nervio radial era visible en la cara anterior del codo. Se estudió el paso del nervio por el tabique lateral del antebrazo y arco del supinador).

Durante el recorrido examinado se tomaron medidas con un calibrador digital, de las distancias y diámetros en los puntos marcados en la Tabla 3 y Figura 7. Tanto en el

estudio anatómico como ecográfico se calcularon los valores medios de tres mediciones consecutivas para cada parámetro.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los valores se expresan como la media aritmética y desviación estándar de los 19 miembros estudiados. En las tablas 4 y 6 se presentan los valores medios y los intervalos de confianza al 95%. En algunas tablas se indica también el rango (valor mínimo y máximo) de los parámetros estudiados.

Se usó la prueba t de Student para contrastar si existían diferencias estadísticamente significativas entre géneros (varones vs mujeres) y entre ambos lados anatómicos (izquierda vs derecha). Este contraste se realizó solo entre parámetros obtenidos por el mismo método (mediciones anatómicas o ultrasonografía).

Se utilizó el análisis de correlación de Pearson para evaluar la posible correlación entre algunos de los diferentes parámetros estudiados.

Finalmente se analizó la concordancia entre las medidas obtenidas por ambos métodos, ecográficamente y por la disección anatómica, aplicando el método gráfico comparativo de Bland-Altman.

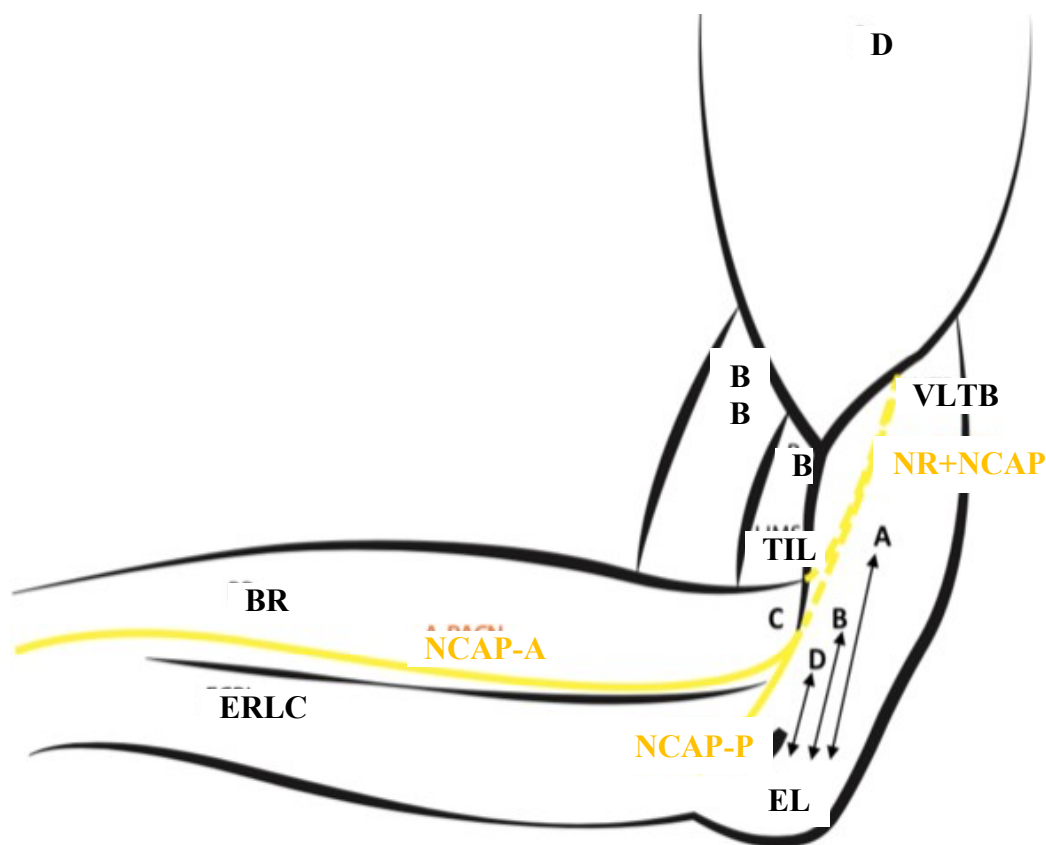


Figura 7. Imagen de la cara externa del brazo y posterior del antebrazo. En línea amarilla discontinua se observa el recorrido profundo del NR/NCAP y en línea amarilla continua el recorrido superficial del NCAP.

Flecha A: Distancia desde el epicóndilo lateral hasta el punto donde el nervio radial perfora el tabique intermuscular lateral. **Flecha B:** Distancia desde el epicóndilo lateral hasta el hiato donde el nervio cutáneo antebraquial posterior perfora la fascia profunda y se hace superficial. **Punto C:** Diámetro del nervio cutáneo antebraquial posterior donde perfora la fascia profunda en el brazo. **Flecha D:** Distancia desde el epicóndilo lateral hasta la bifurcación del Nervio cutáneo antebraquial posterior en su rama anterior y posterior. **Abreviaturas:** **D**, músculo deltoides; **BB**, músculo bíceps braquial; **B**, músculo braquial; **BR**, músculo braquiorradial; **VLTB**, músculo vasto lateral del tríceps braquial; **ERLC**, músculo extensor radial largo del carpo; **TIL**, tabique intermuscular lateral del brazo; **NR**, nervio radial; **NCAP**, nervio cutáneo antebraquial posterior; **NCAP-A**, rama anterior del nervio cutáneo antebraquial posterior; **NCAP-P**, rama posterior del nervio cutáneo antebraquial posterior; **EL**, epicóndilo lateral.

Tabla 2. Diámetro/distancia de los diferentes puntos estudiados ecográfica (US) y anatómicamente (**Anat**) del nervio cutáneo antebraquial posterior.

<i>Referencia distancia</i>	<i>Punto inicial</i>	<i>Punto final</i>	<i>Anat</i>	<i>US</i>
<i>A</i>	<i>Epicóndilo lateral</i>	<i>Hiato donde el NCAP atraviesa la fascia profunda</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>
<i>B</i>	<i>Epicóndilo lateral</i>	<i>Bifurcación del NCAP en NCAP-A y NCAP-P</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>
<i>C</i>	<i>Epicóndilo lateral</i>	<i>Distancia antero-perpendicular del NCAP-A en su paso por el EL</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>
<i>D</i>	<i>Epicóndilo lateral</i>	<i>Distancia antero-perpendicular del NCAP-P en su paso por el EL</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>
<i>F</i>	<i>Diámetro del NCAP en el punto en que atraviesa la fascia profunda del brazo</i>		<i>Si</i>	<i>No</i>

Abreviaturas: **EL**, epicóndilo lateral; **NCAP**, nervio cutáneo antebraquial posterior; **NCAP-A**, nervio cutáneo antebraquial posterior rama anterior; **NCAP-P**, nervio cutáneo antebraquial posterior rama posterior.

Tabla 3. Diámetro/distancia de los diferentes puntos estudiados ecográfica (US) y anatómicamente (Anat) del nervio radial.

<i>Referencia distancia</i>	<i>Punto Inicial</i>	<i>Punto Final</i>	<i>Anat</i>	<i>US</i>
<i>A</i>	<i>Epicóndilo lateral</i>	<i>Donde el nervio radial perfora el tabique intermuscular del brazo</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>
<i>B</i>	<i>Epicóndilo lateral</i>	<i>Arco del Supinador</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>
<i>C</i>	<i>Espesor del tabique intermuscular lateral del brazo en el cruce del nervio radial</i>		<i>Si</i>	<i>No</i>
<i>D</i>	<i>Diámetro del nervio radial en la entrada al tabique intermuscular lateral del brazo</i>		<i>Si</i>	<i>No</i>
<i>D'</i>	<i>Diámetro del nervio radial en la salida del tabique intermuscular lateral del brazo</i>		<i>Si</i>	<i>No</i>
<i>E</i>	<i>Diámetro del nervio radial a 9 cm desde el epicóndilo lateral (en el espacio entre los músculos braquial y braquioradial)</i>		<i>Si</i>	<i>No</i>
<i>F</i>	<i>Diámetro del nervio radial justo antes de perforar el arco del supinador</i>		<i>Si</i>	<i>No</i>

RESULTADOS

RESULTADOS

A) ESTUDIO ECOGRÁFICO

El estudio ecográfico mostró la capacidad de identificar correctamente tanto el nervio radial como del nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP) en los puntos marcados tal como confirmó la posterior disección. Sin embargo, NCAP presentó cierto grado de variabilidad individual en su curso anatómico.

En la Tabla 4 se muestran las medidas comparativas obtenidas por ambos métodos ecográfico y anatómico en los puntos de referencia marcados sobre el nervio radial en su recorrido.

Tabla 4. Diámetros/distancias ecográficas y anatómicas de los diferentes puntos estudiados del nervio radial.

<i>Distancias o diámetros (mm)</i>	<i>Anatómico</i>	<i>Ecográfico</i>
A	113.1 ± 5.8 (38.2)	105.0 ± 5.0 (38.8)
B	43.4 ± 4.1 (29.4)	42.1 ± 4.4 (29.8)
C	1.1 ± 0.1 (0.8)	-
D	2.9 ± 0.2 (2.0)	-
D'	2.8 ± 0.2 (1.4)	-
E	2.8 ± 0.3 (2.7)	-
F	2.0 ± 0.2 (1.7)	-

Valores medios ± 95% intervalo de confianza. El Rango se indica entre paréntesis. **Distancias:** **A:** Desde el epicóndilo lateral (EL) hasta donde el nervio radial perfora el tabique intermuscular lateral (TIL). **B:** Desde el EL hasta el Arco del supinador. **C:** Espesor del TIL cuando es cruzado por el nervio radial (NR). **D:** Diámetro del NR en la entrada al TIL. **D':** Diámetro del NR en la salida del TIL. **E:** Diámetro del NR a 9 cm desde el EL (espacio entre el músculo braquial y braquiorradial). **F:** Diámetro del NR justo antes de perforar el arco del supinador.

En la imagen ecográfica se identificó el nervio radial en el canal radial con una forma ovoide y eco textura fascicular típica. Cuando el nervio atravesó este canal se identificó fácilmente en contacto con el húmero en vista del eje corto (Fig. 8). Se confirmó en disección la correcta situación de la tinta en todos los casos. Este fue el mejor punto de

referencia para encontrar el NCAP, que se identificó como una división del nervio radial.

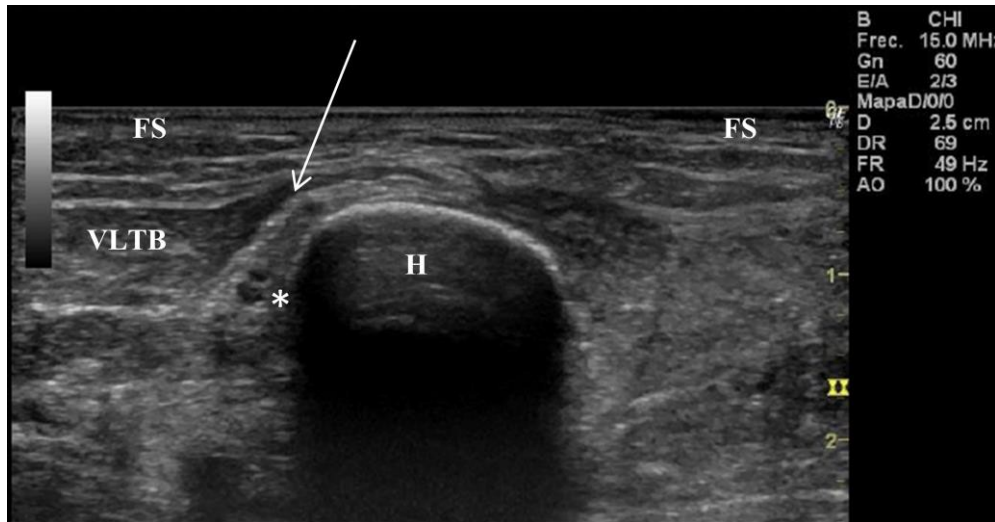


Fig. 8. Ecografía de la parte aponeurótica del músculo vasto lateral del tríceps braquial (VLTB) (Flecha blanca) que forma un túnel fibrótico para el nervio radial (NR) (*) y el nervio cutáneo antebraquial posterior antes de que el NR cruce el tabique intermuscular lateral, seguido por la fascia superficial (FS) o tejido adiposo subcutáneo.

Tras la división, el nervio radial perforó el TIL a $10.5\text{cm} \pm 0.8\text{cm}$ (*Rango*= 3.9cm) del epicóndilo lateral (35.7% desde el epicóndilo lateral al borde lateral del acromion, aproximadamente en el 1/3 distal de la longitud del brazo) (Fig. 9) y pasó al compartimento anterior del brazo. En este punto se pudo ver el origen del músculo braquiorradial cubriendo el nervio radial. El nervio continuó descendiendo entre el músculo braquial y braquiorradial hasta llegar al codo.

El NCAP una vez separado del nervio radial, atravesó la fascia profunda a 7.4 cm (*Rango*= 6.6cm) del epicóndilo lateral. En su recorrido superficial, las imágenes ecográficas mostraron que el NCAP estaba dentro de un túnel formado por tejido conectivo y adiposo. Este túnel fue un buen punto de referencia ecográfico para localizar el nervio cutáneo y seguirlo hasta llegar a la cara posterior del antebrazo.

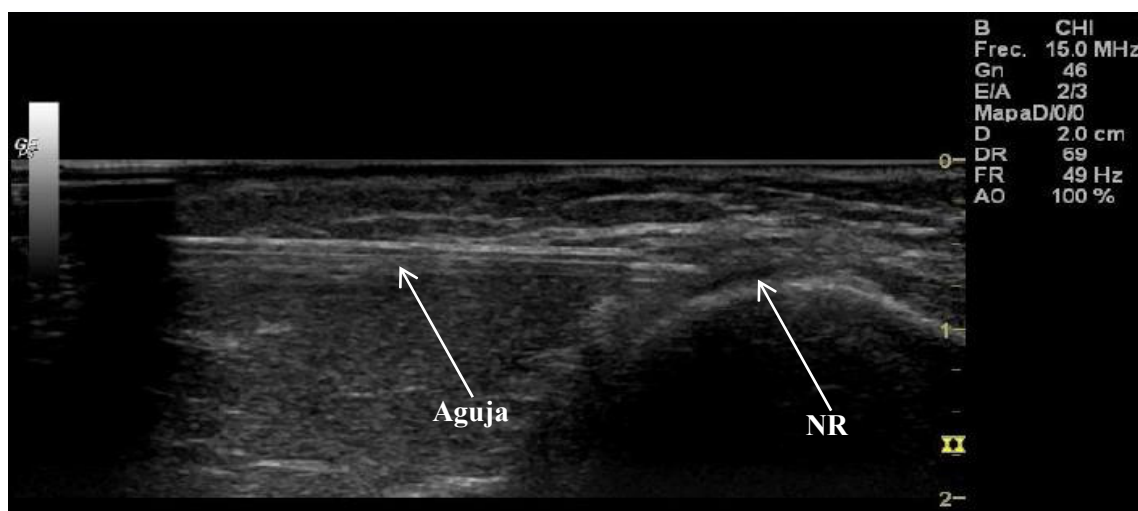


Fig. 9. Imagen ecográfica del nervio radial (NR) (flecha blanca) en contacto con el húmero. La aguja inyectó tinta en el punto del nervio antes de cruzar el tabique intermuscular lateral.

En el compartimento antero-lateral del codo, en el canal bicipital lateral, y profundamente, el nervio radial se dividió en dos ramas. La rama superficial continuó anteriormente cubierta por el músculo braquiorradial. La rama profunda o motora continuó hasta alcanzar el origen del músculo supinador a $4.2 \pm 0.8\text{cm}$ (*Rango*= 3.0) del epicóndilo lateral (Fig. 10) y pasar de la cara anterior a la posterior del antebrazo.

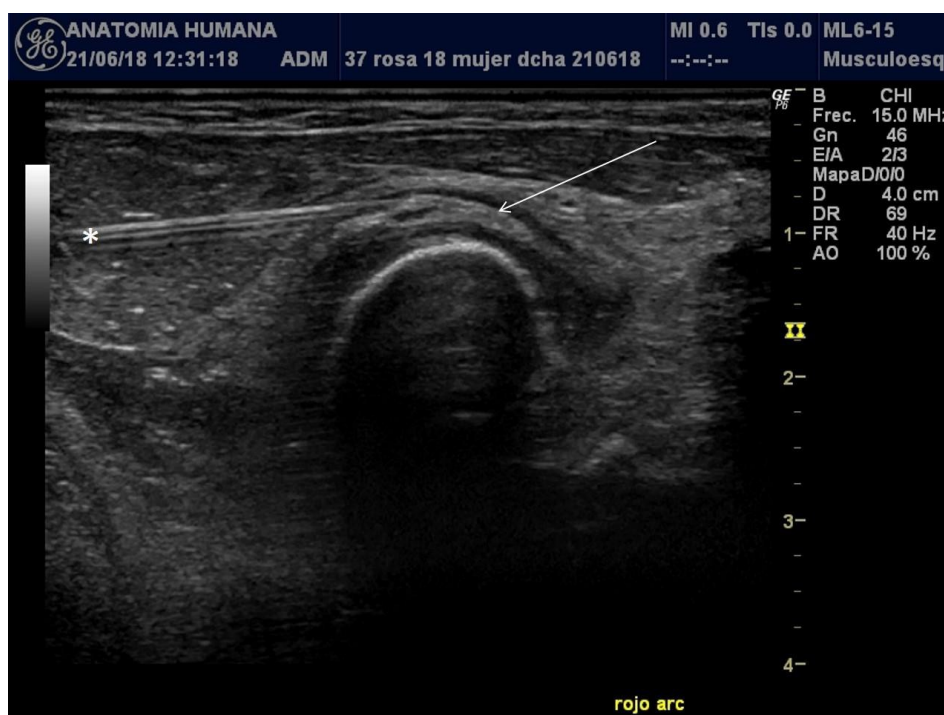


Fig. 10. La imagen de ecografía muestra la rama profunda o motora del nervio radial en el origen del músculo supinador. La aguja (*) utilizada para inyectar la tinta en este punto es claramente visible.

B) ESTUDIO ANATÓMICO

B.1 NERVIO CUTÁNEO ANTEBRAQUIAL POSTERIOR

La disección del miembro superior se inició identificando el NCAP superficialmente en el tejido subcutáneo a nivel del brazo y antebrazo para posteriormente examinar su curso profundo. En un primer momento se mostró el tejido adiposo subcutáneo (fascia superficial) bajo la piel, esta fue variable según el espécimen, pero siempre fue más gruesa en el brazo que en el antebrazo (Fig. 11).



Fig. 11. Imagen global de la fascia superficial o tejido celular subcutáneo de brazo y antebrazo

Bajo esta fascia se encontró la fascia profunda o fascia braquial/antebraquial. El recorrido superficial del NCAP se localizó entre la fascia profunda y superficial (Fig. 12). Profundamente a la fascia braquial se observó la fascia propia del músculo (el epimisio), que compartimentaba los diferentes vientres musculares (Fig. 13). Entre las diferentes subcapas fasciales se emitían expansiones de tejido conectivo laxo (unían estas capas y permitían el deslizamiento entre ellas) (Fig. 14), que incluso podían llegar a cubrir y formar túneles compartimentado para el deslizamiento del nervio radial y el NCAP. Al diseccionar estas estructuras los nervios quedan libres.

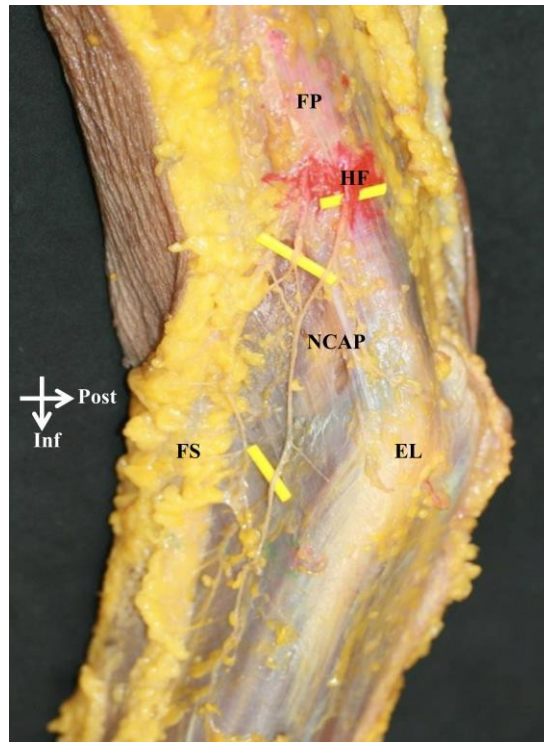


Fig. 12. En la imagen observamos la continuidad de fascia braquial a antebraquial (FP). A los lados desplazamos el tejido adiposo subcutáneo (FS) para permitir ver la salida del nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP) (tinta roja) por el hiato fascial (HF) formado por la FP y su recorrido superficial. Epicóndilo lateral (EL).

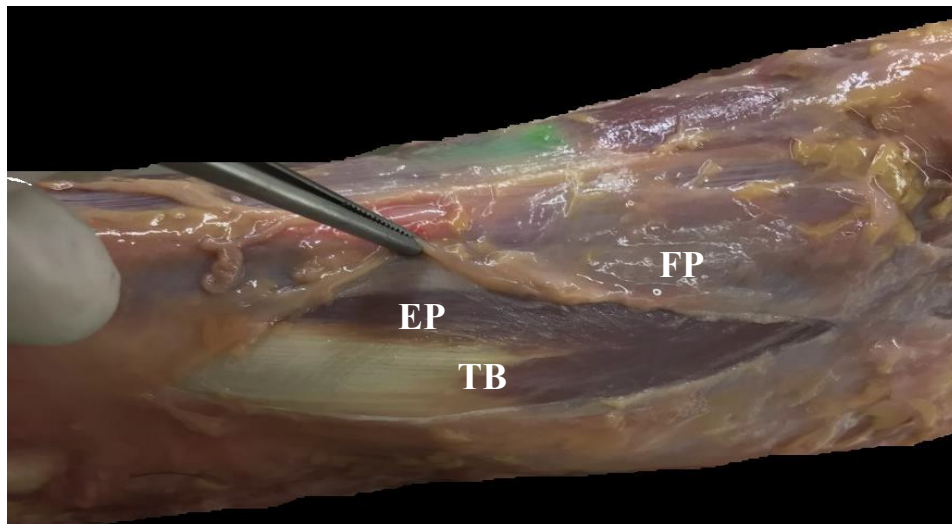


Fig. 13. La imagen muestra distintas capas fasciales. Una vez levantada la fascia superficial se observó la fascia profunda (FP) (cogida con la pinza), una sección longitudinal superficial sobre esta capa nos permite observar el epimisio (EP) del músculo tríceps braquial (TB).

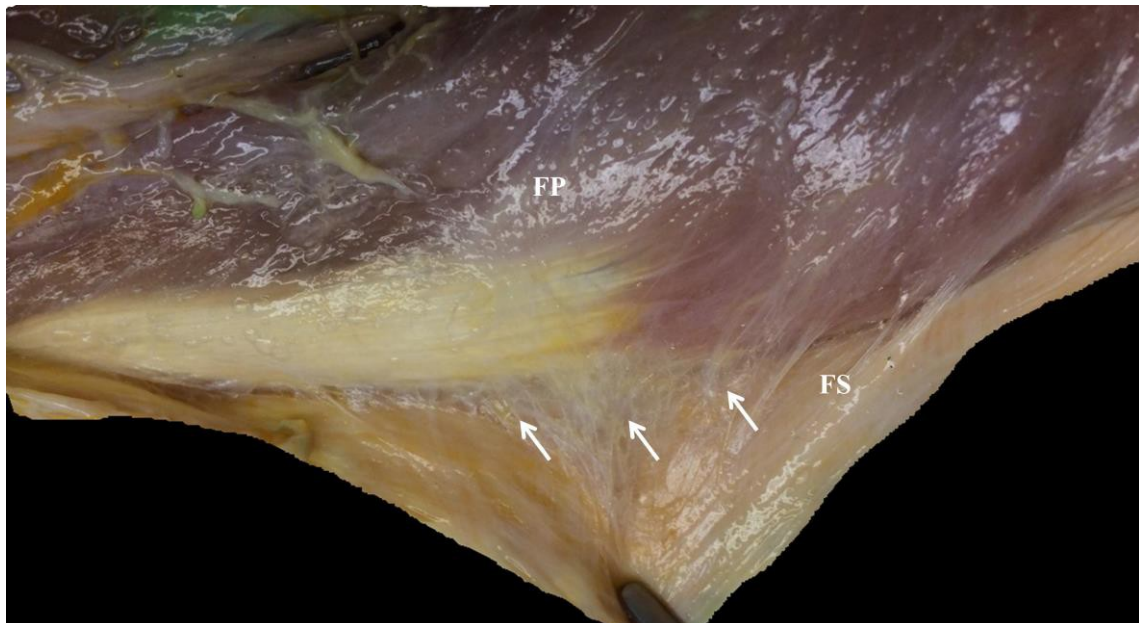


Fig. 14. En esta imagen se muestran las expansiones de tejido conectivo laxo (marcado con flechas) que unen la fascia superficial (FS) a la fascia profunda (FP).

Siguiendo la disección encontramos la tinta inyectada ecográficamente, el punto de referencia indicaba la salida del NCAP de la fascia profunda a la superficial. Se inyectó correctamente en el 74% de los casos y a una distancia de 7.4 cm del epicóndilo lateral. Sin embargo en el 10% de los casos la tinta se encontró en el recorrido del NCAP y en el 16% restante de los especímenes se inyectó en el nervio cutáneo braquial posterior. Este último discurre posterior al NCAP (Fig. 18). Esto dio lugar a varios patrones de recorrido del nervio NCAP una vez se separó del NR (Fig. 15). En todos los casos el origen del NCAP fue proximal al paso del nervio radial por el TIL, este siempre se bifurcaba como rama del nervio radial para después ambas discurrir cercanas y paralelas hasta que el nervio radial cruzaba el TIL (16 casos, 84%, Línea A, B y C) o, alternativamente, podía discurrir claramente separada del nervio radial 1 cm antes de que esta cruzara el TIL (3 casos, 16%, Línea D) (Fig. 16A/B).

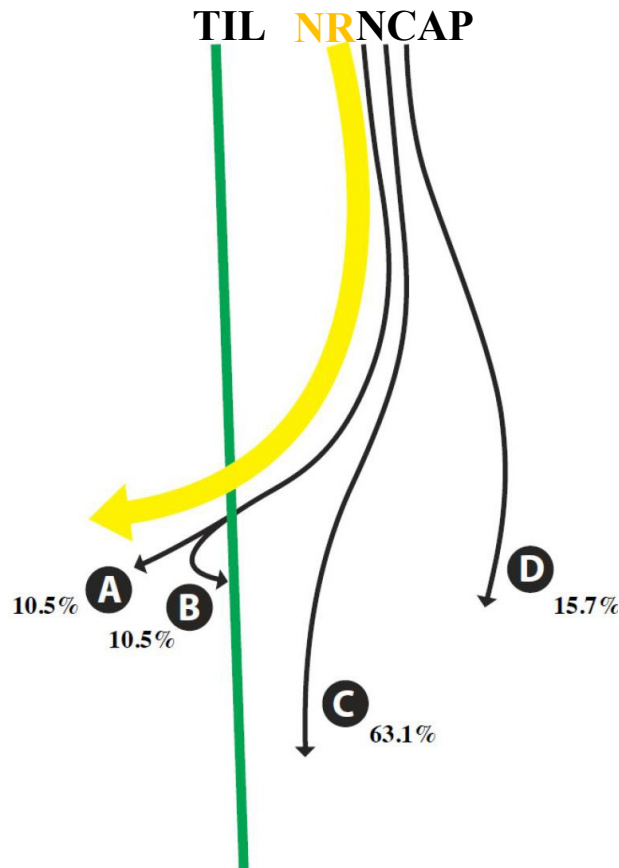


Fig. 15. El dibujo muestra las diferentes vías del nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP) en el brazo, teniendo como referencia el tabique intermuscular lateral (TIL) y su división con el nervio radial (NR). **Línea A:** NCAP perfora TIL junto al nervio radial y continúa en el compartimento anterior hasta hacerse superficial (10,5%). **Línea B:** NCAP perfora el TIL junto al NR y vuelve nuevamente al compartimento posterior para hacerse superficial (10,5%). **Línea C:** vía más frecuente, el NCAP acompaña el NR en su recorrido, y se hace superficial una vez el NR cruza el TIL (63,1%). **Línea D:** el NCAP se separa prematuramente del NR 1cm antes de que este cruce el TIL (15,7%).

En los tres casos donde el NCAP se separó prematuramente del nervio radial (16% Línea D), el NCAP discurrió dentro del compartimento muscular del músculo tríceps braquial en un canal formado por su perimisisio hasta cruzar el músculo y hacerse superficial (Fig. 16A/B).

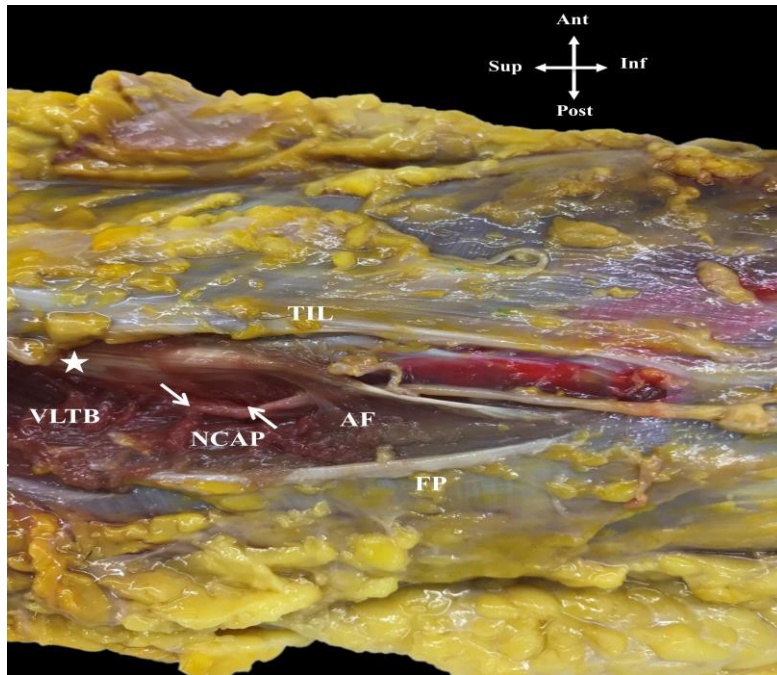


Fig. 16A. Disección detallada del nervio cutáneo antebrachial posterior (NCAP) (tinta roja) separado prematuramente del nervio radial (NR) (16% Línea D). El NR se encontraba profundo a la aponeurosis longitudinal (*) del músculo vasto lateral del tríceps braquial (VLTB), el NCAP se hizo subcutáneo pasando por un arco fibroso (AF) formado por la aponeurosis distal del músculo VLTB. El NCAP se deslizaba solo dentro de las fibras musculares del músculo VLTB en un canal formado por el perimysio (marcado con flechas). Fascia profunda (FP); tabique intermuscular lateral (TIL).

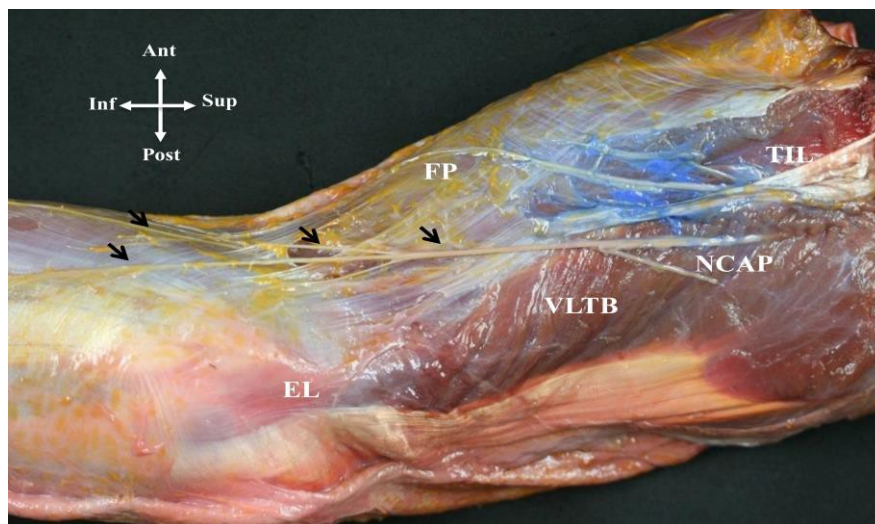


Fig. 16B. Mismo recorrido del nervio cutáneo antebrachial posterior (marcado con flechas) (NCAP) que en la Fig. 16A (**Línea D**). En este caso la fascia profunda (FP) y el epimysio del músculo vasto lateral del tríceps braquial (VLTB) ha sido levantado para visualizar el recorrido del NCAP a través del perimysio del músculo VLTB. La FP del compartimento anterior del brazo se mantiene. Tabique intermuscular lateral (TIL).

En las tres primeras variaciones (Línea A-B-C) (16 casos), el NCAP siguió en el compartimento posterior en doce casos (63%; línea C) (Fig. 17), pero en los cuatro casos restantes (21%) el NCAP cruzó el TIL junto al nervio radial. En dos de estos últimos casos, volvió al compartimento posterior (Línea B) siguiendo el trayecto más frecuente del NCAP, pero en los otros dos siguió junto al nervio radial en el compartimento anterior hasta cruzar la fascia profunda por el compartimento anterior del brazo y finalizar como rama única en el antebrazo o anastomosarse con el nervio cutáneo braquial posterior (Line A) (Fig. 18).

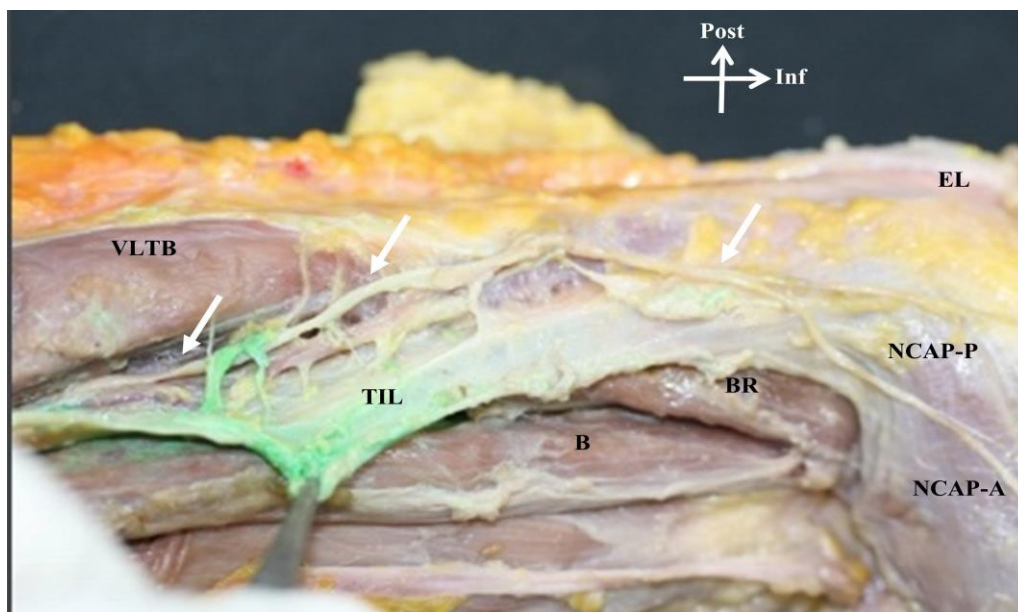


Fig. 17. Curso clásico del nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP) (63%) (marcado con flechas) que discurría por la cara posterior del tabique intermuscular lateral (TIL) (cogido con la pinza) del brazo hasta perforar la fascia profunda (eliminada en la imagen) en este compartimento posterior del brazo y dividirse en dos ramas, una anterior (NCAP-A) y una posterior (NCAP-P). Músculo braquial (B); músculo braquiorradial (BR); epicóndilo lateral (EL).

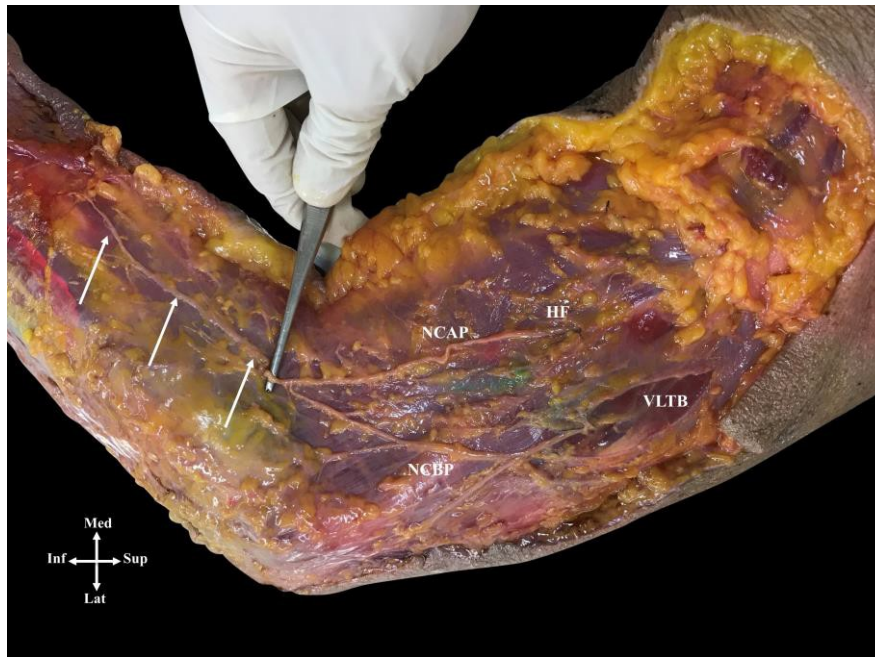


Fig. 18. En la imagen se observó la anastomosis entre el nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP) (perforando el tabique intermuscular lateral del brazo junto al nervio radial, para finalmente hacerse superficial en el compartimento anterior del brazo (Línea A)) y el nervio cutáneo braquial posterior (NCBP). Formando finalmente una única rama en la cara póstero-lateral del antebrazo (marcada con flechas). El NCAP atravesó el hiato fascial (HF) para hacerse superficial, también se mostró el NCBP cruzar el músculo vasto lateral del tríceps braquial (VLTB).

Una descripción precisa del compartimento posterior del brazo reveló que, en los casos más frecuentes, cuando el nervio radial y el NCAP discurrían paralelos, ambos nervios se situaban siempre laterales al músculo VLTB hasta que el nervio radial cruzaba el TIL a 11.3 cm (± 1.1) del epicóndilo lateral. En esta disposición, las bandas aponeuróticas longitudinales formaban un túnel longitudinal compartido por el nervio radial y NCAP (descrito detalladamente en el próximo apartado B.2) (Fig. 19).

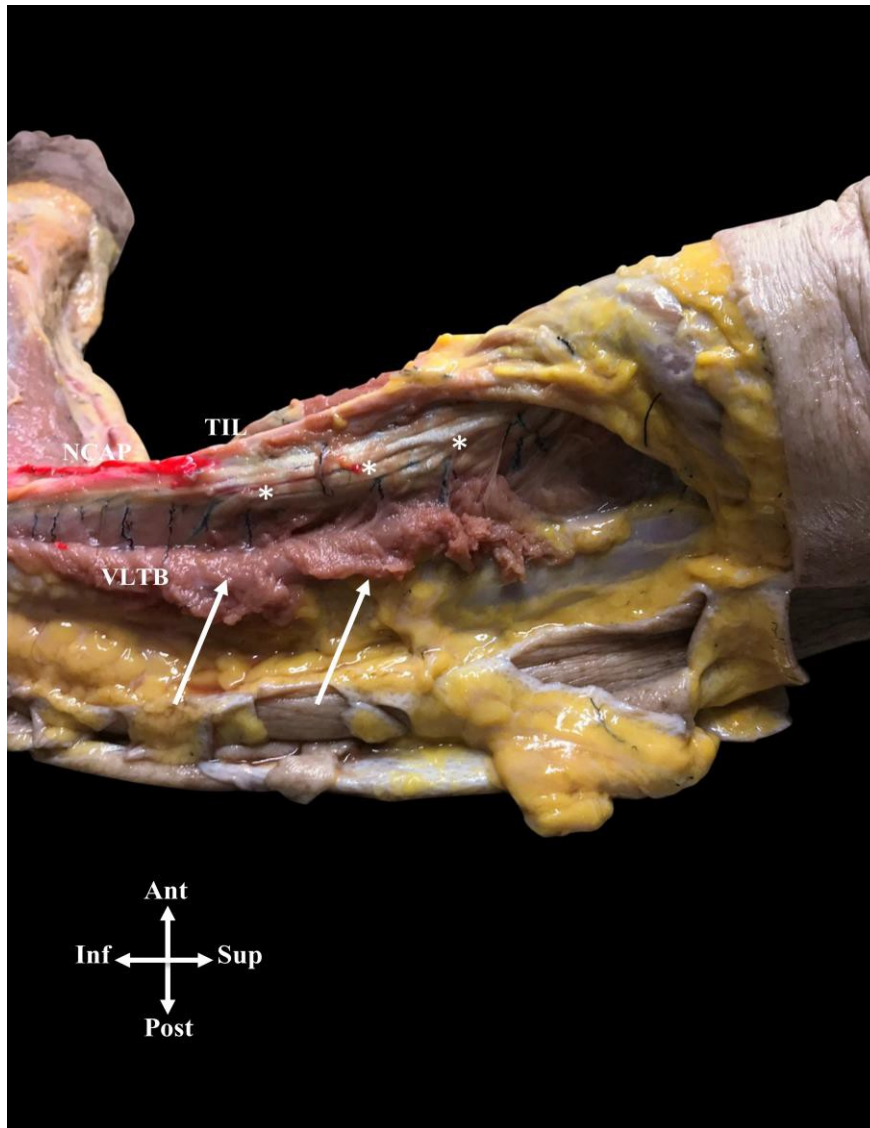


Fig. 19. La imagen mostró la aponeurosis longitudinal (*) del músculo vasto lateral tríceps braquial (VLTB) tras separar las fibras musculares del mismo músculo (marcado con flechas). La aponeurosis formó un túnel longitudinal y en su interior pasaban el nervio radial y nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP). El NCAP perforó la fascia profunda por el compartimento posterior (tinta roja) mostró su recorrido clásico (Línea C). Tabique intermuscular lateral (TIL).

Una importante observación fue que, en el lado superficial de este túnel, el origen de las fibras musculares del músculo VLTB formaban el techo del túnel (Fig. 19). Una vez el NCAP se separó del nervio radial en 12 casos (63%, Línea C), discurrió por la cara posterior del TIL durante 3 cm hasta cruzar la fascia profunda a 8.3 cm del epicóndilo lateral. En dos de estos últimos casos, el NCAP pasó bajo un arco fibroso formado por las fibras del VLTB (Fig. 16A-20). En este punto de emergencia se identificó el nervio en el tejido adiposo de la fascia superficial y tenía un diámetro de sección transversal de 1.2 mm (Tabla 5).

Tabla 5. Diámetro/distancia ecográfica (US)/anatómica (A) de los diferentes puntos de referencia entre el nervio cutáneo antebraquial posterior y el epicóndilo lateral

	<i>A (US)</i>	<i>A (A)</i>	<i>B (US)</i>	<i>B(A)</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
Media (mm)	105	113	74	83	1.2	57	36	27
DS (mm)	8	11	13	13	2	12	8	6
Rango (mm)	123–84	138–99	116–50	113–58	16–7	86–37	58–23	33–17

Los Valores se presentan como media (DE, desviación estándar); **Abreviaturas:** EL, epicóndilo lateral; NR, nervio radial; TIL, tabique intermuscular lateral; NCAP, nervio cutáneo antebraquial posterior; NCAP-A, anterior; NCAP-P, posterior; **Distancias:** **A:** Desde el EL hasta el punto en que el NR atraviesa el TIL. **B:** Desde el EL hasta el hiato donde el NCAP perfora la fascia profunda. **C:** Diámetro del NCAP en el punto donde el nervio perfora la fascia profunda del brazo. **D:** Desde el EL hasta la bifurcación del NCAP en NCAP-A y el NCAP-P. **E:** La distancia anterior/perpendicular donde el NCAP-A pasa el EL. **F:** La distancia anterior/perpendicular donde el NCAP-P pasa el EL. Las distancias A,B y D vienen marcadas en la Fig. 7.

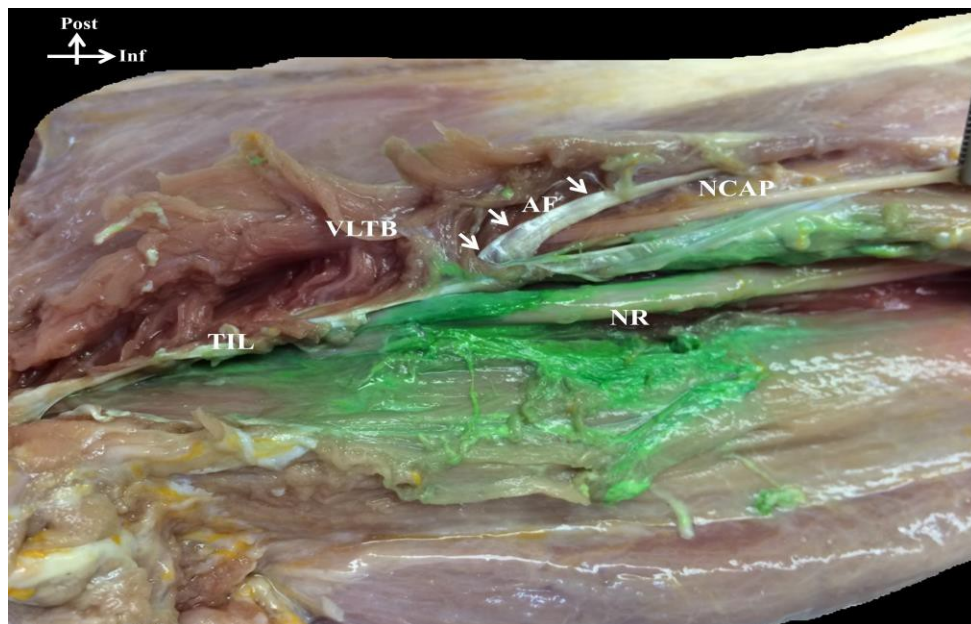


Fig. 20. La imagen mostró la relación del nervio radial (NR) (tinta verde) y nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP) con el tabique intermuscular lateral (TIL). La salida del NCAP a través del arco fibroso (AF) (marcado con puntas de flechas blancas) formado por el músculo vasto lateral tríceps braquial (VLTB). Además, se aisló el TIL separando las inserciones que el músculo VLTB tenía sobre el TIL.

El análisis de la concordancia entre las distancias obtenidas por ambos métodos mediante un análisis de comparación del método de Bland-Altman muestra una buena concordancia entre las medidas obtenidas por ambos métodos ecográfico y anatómico (Fig. 21).

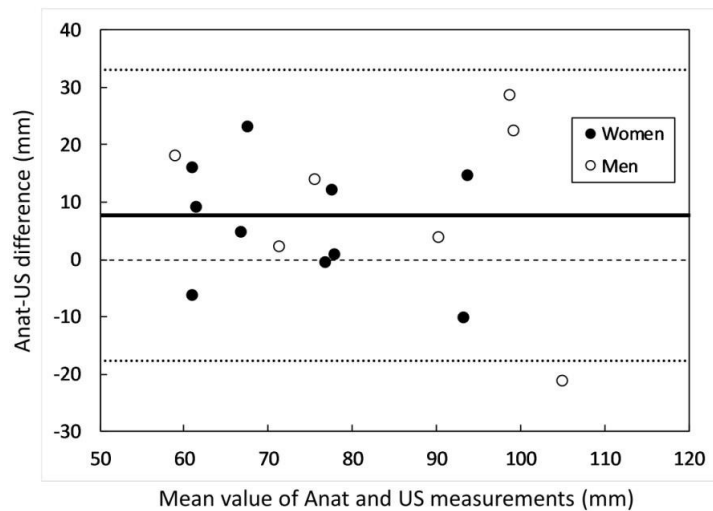


Fig. 21. Gráficos de Bland-Altman para las distancias desde el epicóndilo lateral hasta el punto del hiato fascial donde el nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP) perfora la fascia profunda. El eje Y representa la diferencia en las medidas tomadas por disección anatómica y ecográfica. El eje X representa el valor medio de las medidas obtenidas por los dos métodos. La línea continua horizontal representa el sesgo, mientras que las líneas punteadas son los límites superior e inferior de concordancia, calculados como 1.96 DS (desviación estándar). Una línea discontinua indica diferencia cero (igualdad).

El tejido conectivo laxo de esta fascia superficial formaba una estructura similar a un túnel (de longitud variable) por donde se deslizaba el NCAP hasta llegar a la parte proximal del codo. Esta vista anatómica era compatible con la imagen ecográfica descrita anteriormente (Fig. 9). La disección del NCAP fue más sencilla desde el codo hacia distal, debido a la menor cantidad de tejido adiposo subcutáneo y a la estrecha relación entre el nervio y la fascia antebraquial.

Durante el descenso del NCAP, normalmente se dividió en dos ramas a 5.7 cm del epicóndilo lateral formando el NCAP anterior (NCAP-A) y el NCAP posterior (NCAP-P), pero en uno de los especímenes el NCAP se dividió en tres ramas. En el descenso el

NCAP se va anteriorizando y en todos los casos pasa anterior al epicóndilo lateral (Fig. 22).

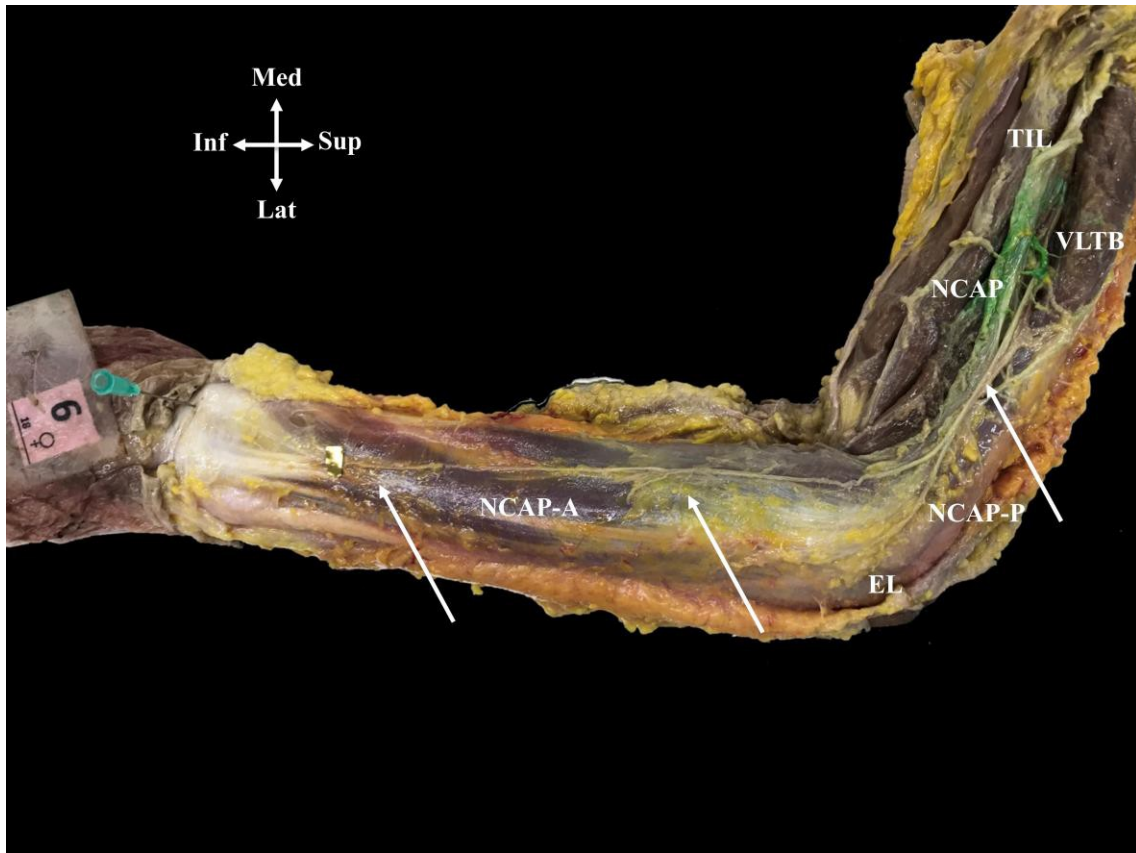


Fig. 22. La disección mostró el trayecto del nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP) (flecha blanca superior) tras atravesar la fascia profunda del brazo (tinta verde). En su descenso se dividió en dos ramas, una anterior (NCAP-A) (flechas blancas inferiores) y otra posterior (NCAP-P). La división fue siempre superior al epicóndilo lateral (EL). La aguja marca la muñeca. Tabique intermuscular lateral (TIL), músculo vasto lateral tríceps braquial (VLTB).

El NCAP-A descendió como una sola rama en el 95% de los casos (n=18). De ellas, el 89% (n=16) terminaba en la cara posterior de la muñeca y el 11% (n=2) sólo alcanzaba el tercio distal del antebrazo. Esta rama tenía una distancia perpendicular de 3,6 cm del epicóndilo lateral. En el otro 5% (n=1), el NCAP-A se dividía en dos ramas: una terminaba en la mitad de la cara posterior del antebrazo y la otra llegaba hasta la muñeca. En el antebrazo se observó una relación entre el NCAP-A con la vena cefálica, estas dos estructuras se situaban en la fascia superficial (Fig. 23).



Fig. 23. Relación de la Vena Cefálica (VC) (puntas de flechas blancas) con la rama anterior del nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP-A) (puntas de flechas negras).

El NCAP-P como rama única (87%) podía anastomosarse con el nervio cutáneo braquial posterior, en pocos casos (16%) descender hasta el tercio medio del antebrazo, o terminar en la piel del epicóndilo lateral (42%), o bien en la parte inferior del epicóndilo lateral (42%). Cuando el NCAP-P se dividía en dos ramas (13%), una terminaba en el epicóndilo lateral, mientras que la otra alcanzaba la parte posterior del antebrazo.

B.2 NERVIO RADIAL

La disección del nervio radial confirmó la correcta localización (100% de los casos) de la tinta inyectada mediante ecografía en los puntos de referencia establecidos: donde el nervio radial entra en contacto con el húmero (justo en el punto de cruce del TIL) y en la arcada del músculo supinador.

Los resultados anatómicos se describen según el curso de la disección de proximal a distal, siguiendo el descenso del nervio radial desde el surco radial hasta la arcada del supinador.

Al proseguir la disección de las capas fasciales tal como hemos visto anteriormente, la fascia profunda de los compartimentos anterior y posterior del brazo convergen en la línea media del lado externo del brazo para formar el TIL (Fig. 24). Por regla general la

fascia profunda anterior y posterior del brazo se fueron densificando conforme iban confluyendo en la línea media para formar el TIL (principalmente la posterior).

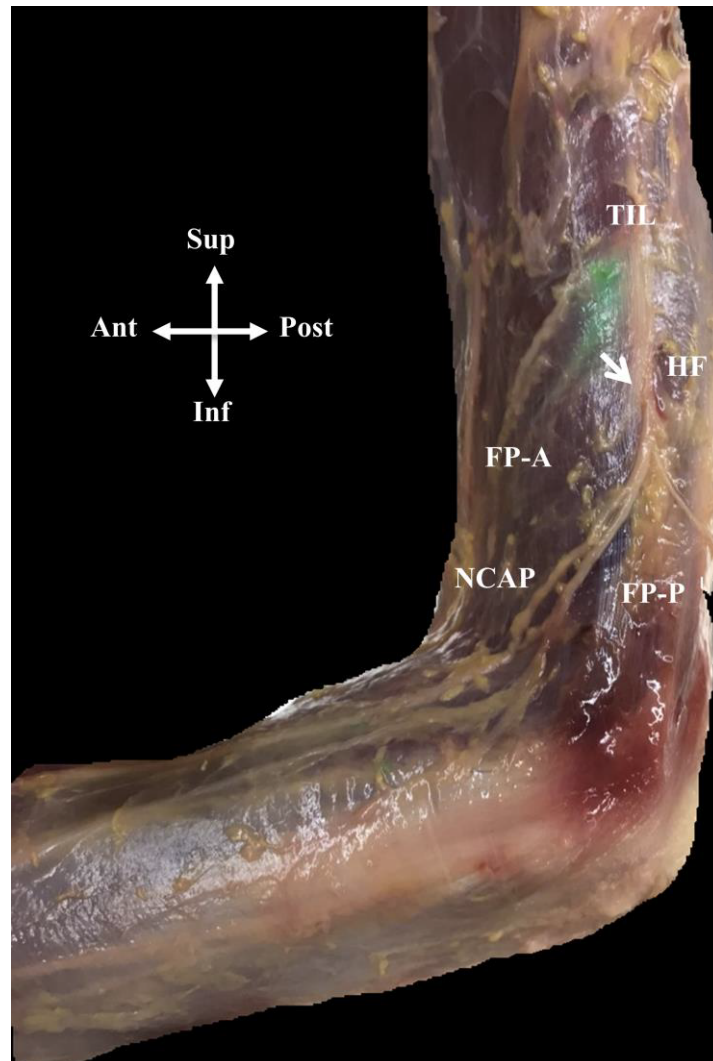


Fig. 24. En la disección se observó la fascia profunda (FP) o braquial, que se dividió en FP Anterior (FP-A) y FP Posterior (FP-P), las dos pertenecían a la fascia braquial y convergían en la línea media externa para formar el tabique intermuscular lateral (TIL). Así mismo, se visualizó la salida del nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP) por su hiato fascial (flecha blanca) por la FP-P. Tinta verde marca el cruce del nervio radial por el TIL.

Respecto al TIL se apreció un anclaje a nivel superior sobre la V deltoidea y a nivel inferior sobre el epicóndilo lateral (Fig. 25A/B).

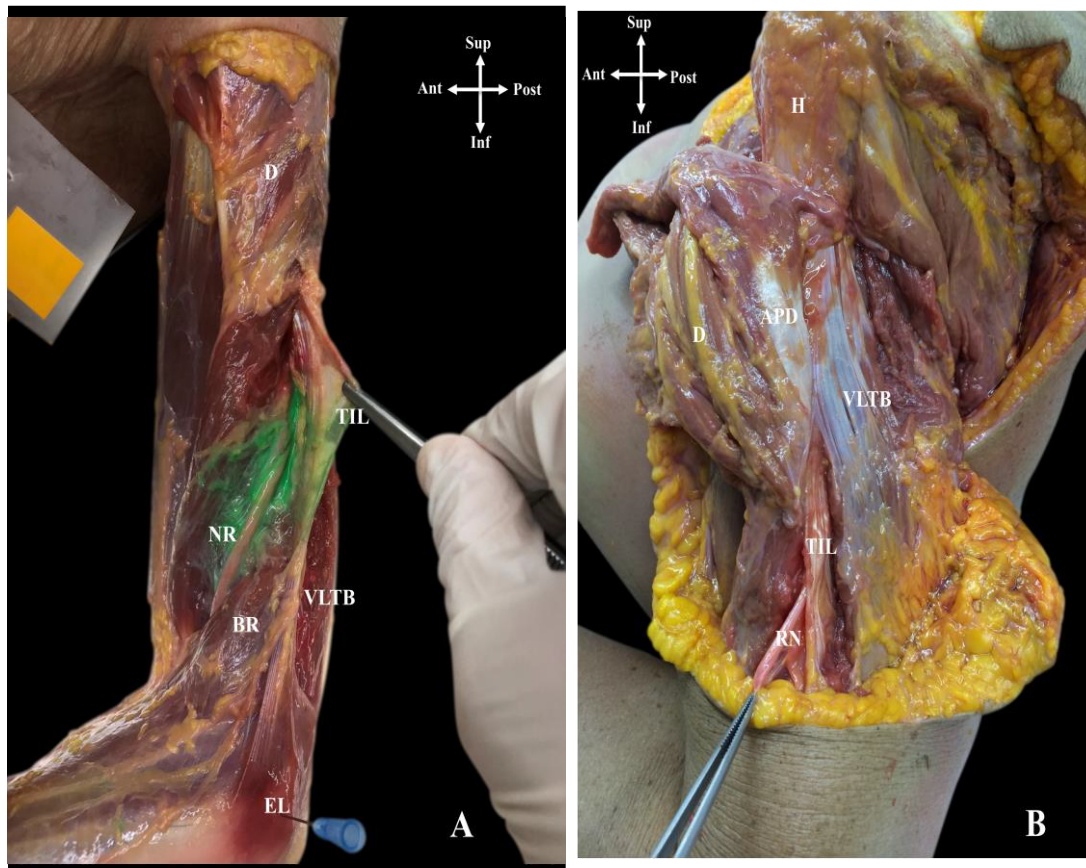


Fig. 25A. Relación del tabique intermuscular lateral (TIL) inferiormente con el epicóndilo lateral (EL) y superiormente con la V deltoidea. Músculo deltoides (D), nervio radial (NR), músculo braquiorradial (BR), vasto lateral del tríceps braquial (VLTB).

Fig. 25B. Se aprecia el nervio radial (NR) en el compartimento anterior. La relación de la aponeurosis profunda del músculo deltoides (APD) con el músculo vasto lateral del tríceps braquial (VLTB) y el húmero (H). El tabique intermuscular lateral (TIL) se origina sobre la parte posterior de la V deltoidea y anterior a la aponeurosis del músculo VLTB. Músculo deltoides (D).

Al proseguir la disección se demostró que el nervio radial cruzaba del compartimento posterior al compartimento anterior manteniendo una estrecha relación con el músculo VLTB. Así, se observó que este músculo desplegaba una aponeurosis longitudinal paralela al TIL, en 10 de los 19 casos estudiados, en forma de arco fibroso por el que pasaba el nervio radial antes de atravesar el TIL (Fig. 26).

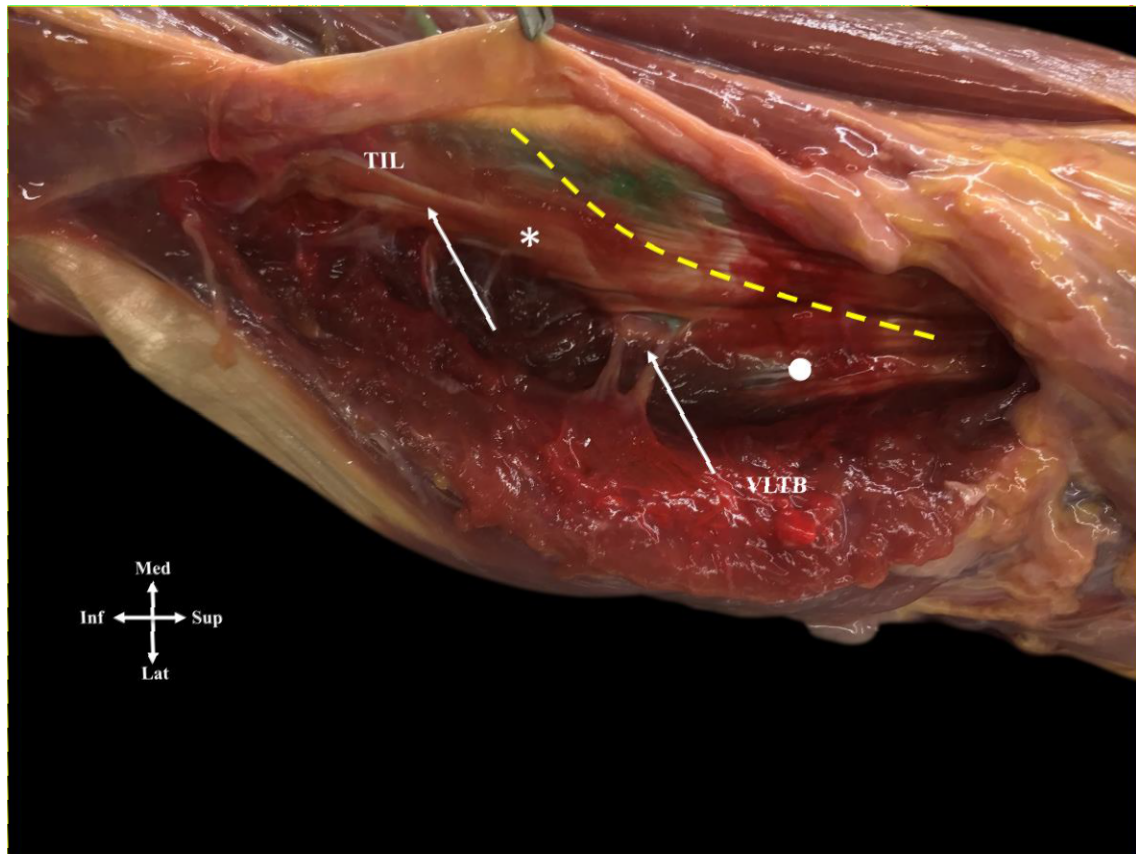


Fig. 26. Aponeurosis longitudinal (●) del vasto lateral del músculo tríceps braquial (VLTB) y aponeurosis longitudinal (*) del tabique intermuscular lateral (TIL). En línea discontinua amarilla se encuentra el nervio radial en profundidad. Las fibras del músculo VLTB se separaron de ambas aponeurosis (marcado con flechas).

Esta aponeurosis del músculo VLTB se originaba en el área de inserción distal del músculo deltoides posterior y se extendía hasta el paso del nervio radial por el TIL. Se encontró una solución de continuidad entre la aponeurosis del músculo VLTB y el músculo deltoides posterior (Fig. 25B). Durante la disección se observó con movimientos y tracción hechas a las fibras del músculo VLTB eran transmitidas al músculo deltoides posterior.

Al proseguir la disección se retomó el TIL con una disección delicada y más profunda. Se observó que el tabique estaba compuesto por un tejido conectivo denso anclado al borde lateral del húmero y que separaba el compartimento posterior del anterior del brazo. En la observación macroscópica el TIL emitía unas expansiones aponeuróticas longitudinales más marcadas posteriormente (generó un desdoblamiento de sus fibras) y dispuestas en diferentes direcciones que permitían el deslizamiento del nervio radial por su interior y el origen a gran parte de la musculatura del brazo (Fig. 26-27 y 28). Sin

embargo, el origen de estos músculos sobre el tabique fue muy variable tanto de los músculos posteriores (VLTB) como los anteriores del brazo (braquial, braquiorradial, extensor radial largo del carpo). Esta variabilidad podría dividirse en dos tipos: Tipo 1: inserciones de músculos de menos de 3 cm de longitud (33%); o Tipo 2: inserciones de músculos de más de 3 cm de longitud (67%).

Tal y como se describió anteriormente, las dos aponeurosis longitudinales (TIL y VLTB) forman ambos túneles por donde se deslizaba profundamente el nervio radial y el NCAP (Fig. 26-27). De esta manera se estableció una estrecha relación entre estas cuatro estructuras. En su descenso ambos nervios entraron en el túnel generado por el músculo VLTB para pasar al túnel formado por el TIL y cruzar finalmente del compartimento posterior al anterior del brazo. La disección cuidadosa de estos túneles mostró arcos fibrosos por donde debían entrar y salir estos nervios (Fig. 16A, 26).

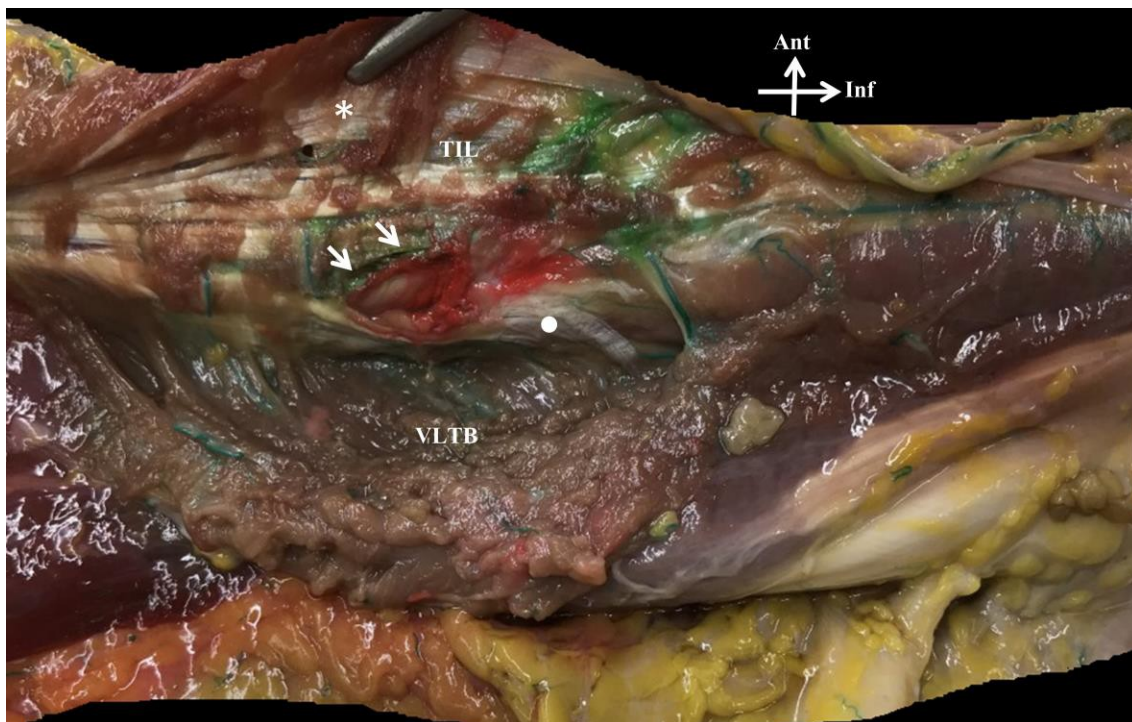


Fig. 27. Visión posterior del brazo, en la disección se observó la aponeurosis longitudinal del tabique intermuscular lateral (TIL) (*) (cogido con la pinza) y la aponeurosis del músculo vasto lateral del tríceps braquial (VLTB) (●). Para esta visión, se extrajeron previamente las inserciones musculares del VLTB sobre estas estructuras. Se realizó una pequeña ventana en la aponeurosis del VLTB (marcado con puntas de flechas blancas) para observar el paso del nervio radial (tinta roja) y nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP) por el túnel generado por la aponeurosis del músculo VLTB.

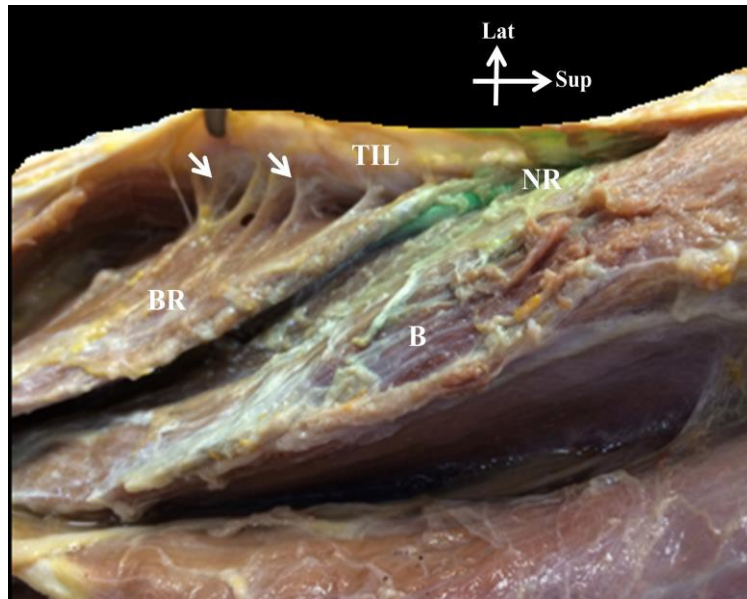


Fig. 28. En esta visión anterior del tabique intermuscular lateral (TIL) antes de llegar al codo, se observó el origen de fibras musculares del músculo braquiorradial (BR) sobre el TIL (marcado con puntas de flechas blancas) y el espacio de deslizamiento del nervio radial (NR) (tinta verde) comprendido entre los músculos braquial (B) y BR.

En todos los casos estudiados el TIL antes de su inserción sobre el húmero se desdobló en dos capas (creando un túnel aponeurótico) albergando el nervio radial en su interior y acompañándolo en su paso del compartimento posterior al anterior (Fig. 29).

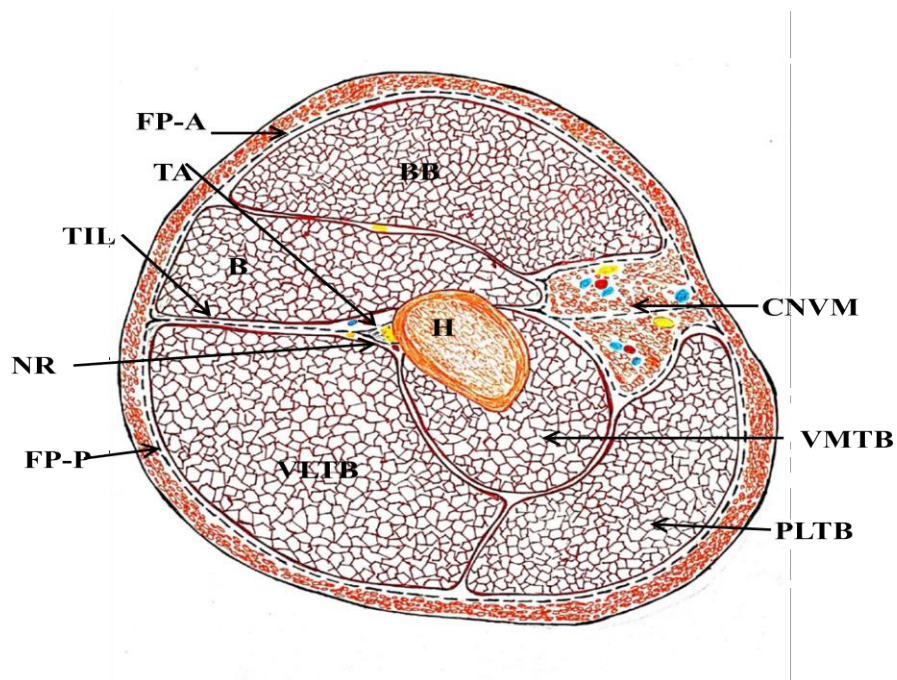


Fig. 29. El esquema del corte transversal muestra el desdoblamiento del tabique intermuscular lateral (TIL) (formado por la fascia profunda anterior (FP-A) y la fascia profunda posterior (FP-P)) formando un

túnel aponeurótico (TA) justo antes de llegar a contactar con el húmero (H), por donde se desliza el nervio radial (NR) para hacerse anterior. En este punto el NR está en contacto directo con el H. Músculo vasto lateral tríceps braquial (VLTB), músculo porción larga tríceps braquial (PLTB), músculo vasto medial tríceps braquial (VMTB), compartimento neuro-vascular medial (CNVM), músculo bíceps braquial (BB), músculo braquial (B).

El paso del nervio radial por el TIL fue a una distancia media de 11.3 ± 1.1 cm teniendo como referencia el epicóndilo lateral. A este nivel el nervio radial estaba en contacto directo con el húmero y el espesor medio del TIL en este punto fue de 1.1 ± 0.5 mm (Tabla 4).

Asimismo, el diámetro de sección transversal del nervio radial, tanto antes como después de atravesar el TIL, fue de 2.9 mm en ambos puntos. Mientras que el diámetro tomado justo antes de que el nervio atravesase el espacio entre los músculos braquial/braquiorradial y justo antes de pasar por la arcada del supinador fueron de 2.8 mm y 2 mm respectivamente (Tabla 4).

Los hallazgos comparativos entre el espesor del TIL y el diámetro de corte transversal del nervio radial en sus diferentes puntos, nos dieron diferencias significativas. Se observó que un espesor en el TIL >1.1 mm implicaba un aumento en el diámetro del nervio radial de 0.4 mm, tanto en el espacio comprendido entre los músculos braquial/braquiorradial como en el arco del supinador, en comparación con aquellos especímenes con un espesor en el TIL <1.1 mm. (Tabla 6).

Tabla 6. Diámetro del nervio radial (mm) en relación al espesor del tabique intermuscular lateral.

	<i>TIL >1.1 mm</i>	<i>TIL <1.1 mm</i>
<i>Antes TIL</i>	2.9 ± 0.3	2.8 ± 0.3
<i>Después TIL</i>	2.8 ± 0.3	2.9 ± 0.2
<i>BR-B</i>	3.0 ± 0.5	2.7 ± 0.4
<i>AS</i>	2.3 ± 0.5	1.9 ± 0.2

Los valores se presentan como media $\pm$ intervalos de confianza del 95%; **Abreviaturas**; TIL: tabique intermuscular lateral; B: músculo braquial; BR: músculo braquiorradial; AS: arco supinador.

Una vez estudiadas estas relaciones anatómicas proximales del nervio radial, se pasó al compartimento anterior del brazo donde el nervio radial se deslizaba por un espacio comprendido entre los músculos braquial medialmente y braquiorradial lateralmente

(Fig. 30). En todas las muestras estudiadas se estableció una estrecha relación entre estas tres estructuras.

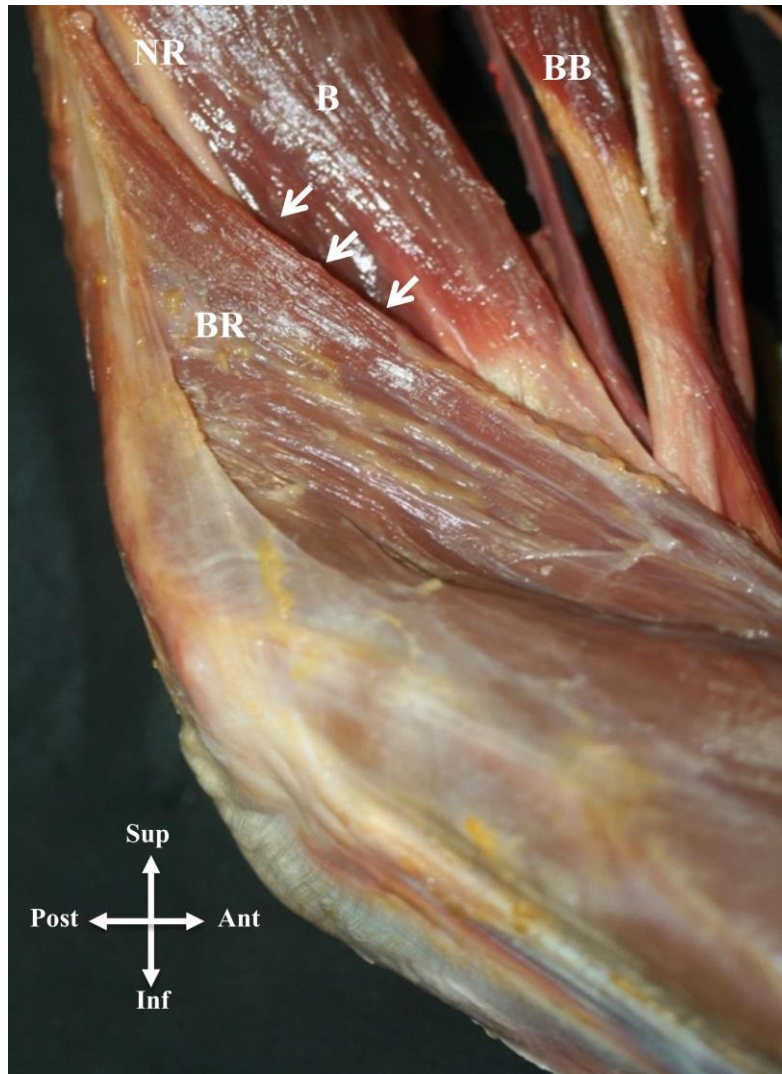


Fig. 30. Disección del espacio de deslizamiento situado entre los músculos braquial (B) y braquiorradial (BR) en la cara externa del brazo antes de llegar a la fosa cubital (marcado con puntas de flechas blancas). En la imagen la fascia profunda y el epimysio fue extraído para favorecer la visualización del espacio. Nervio radial (NR), músculo bíceps braquial (BB).

Una disección delicada permitió observar en este espacio las diferentes relaciones que se generan entre estas estructuras hasta llegar a la fosa lateral del codo. En uno de los casos (5%), los dos músculos presentaban una unión vascular proveniente de la arteria braquial profunda en la parte posterior del brazo, que profundamente limitaban el paso del nervio radial. En la mayoría de los casos (79%) se observó como el epimysio de los músculos braquial y braquiorradial creaba unos puentes de unión por encima del nervio radial, como si lo envolviera (generando un túnel) (Fig. 31B). Incluso, en algunos casos

(16%), se observaron inserciones musculares en esos puentes, correspondientes a los músculos braquial y braquiorradial (**Fig. 31A**).

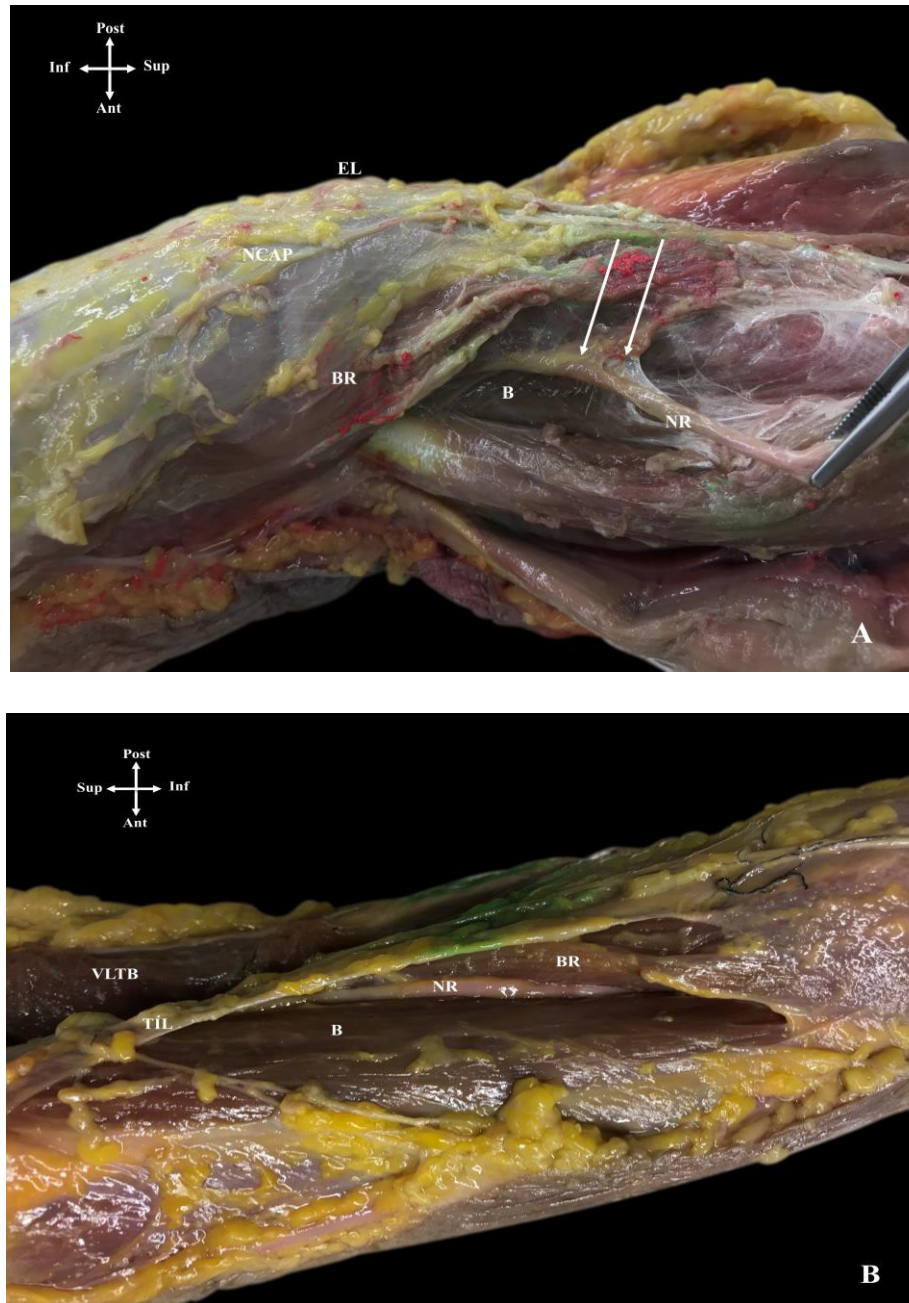


Fig. 31A/B. En las imágenes se mostró el canal bicipital lateral y se observaron las diferentes relaciones del nervio radial (NR) en el espacio entre el músculo braquial (B) y el músculo braquiorradial (BR). Tabique intermuscular lateral (TIL), epicóndilo lateral (EL). **Fig. 31A.** Se vieron inserciones musculares sobre el puente entre los músculos B y BR (marcada con flechas blancas). También se observó el nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP) en su descenso siempre anterior al EL. **Fig. 31B.** Se observaron puentes de unión entre los epimisios de los músculos B y BR.

Al ejercer tracción y movimiento sobre el nervio radial, se observó que, en la mayoría de los casos el nervio transmitía una mayor influencia sobre el tejido epimisial del músculo braquiorradial. Incluso en algunos casos se podía generar entre el nervio y el músculo braquiorradial un túnel fascial por donde el nervio radial se deslizaba (Fig. 32).

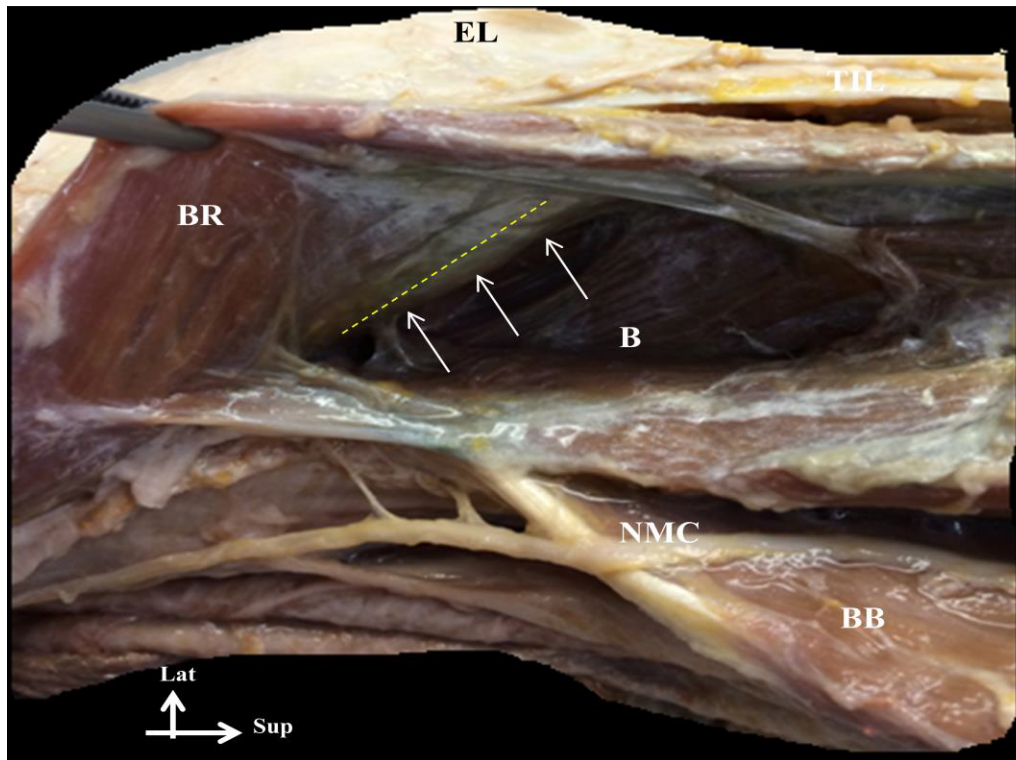


Fig. 32. En esta imagen, la más frecuente (79%), se mostraba la relación entre los epimisios del músculo braquiorradial (BR) y braquial (B). Se observaron los puentes que se generan entre ambas fascias musculares y la relación más estrecha que el nervio radial (NR) (línea amarilla discontinua) tiene sobre él. El nervio músculo-cutáneo (NMC) se deslizaba entre los músculos braquial (B) y bíceps braquial (BB). Epicóndilo lateral (EL); tabique intermuscular lateral (TIL).

En este mismo espacio, se pudo apreciar macroscópicamente cambios morfológicos en la sección transversal del nervio radial, pasando de ser circular a plano en una proporción considerable de nuestras muestras (37%) (Fig. 33). Esta misma situación se repitió en la arcada del supinador (10%).

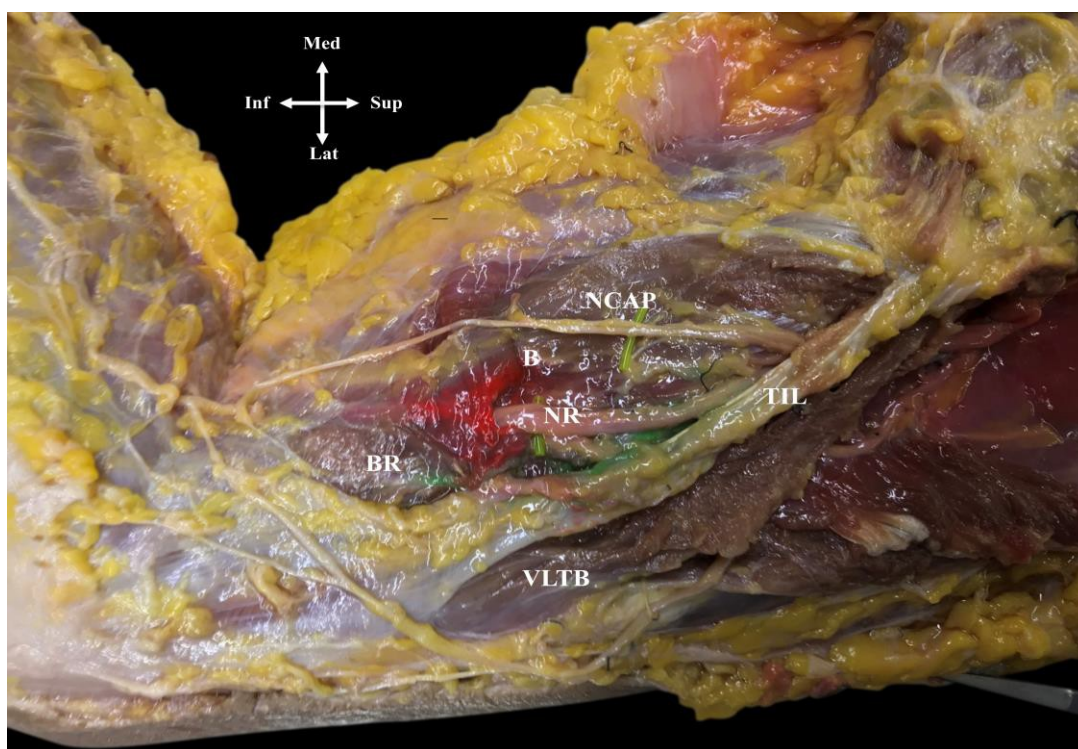


Fig. 33. El nervio radial (NR) pasó por el espacio entre el músculo braquial (B) y el músculo braquiorradial (BR), cubierto por el epimysio denso de estos músculos. El NR adquirió un aspecto plano (con tinta roja). Vasto lateral del músculo tríceps braquial (VLTB), tabique intermuscular lateral (TIL), nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP).

Se prosiguió la disección distalmente, después de observar la división del nervio radial en sus ramas sensitiva y motora en la fosa cubital lateral, se estudió la rama motora. Para ello, se accedió a la arcada entre los fascículos de origen de los músculos supinador donde se observó previamente el tabique lateral del antebrazo (aponeurótico). El tabique compartimentaba la musculatura anterior y lateral del antebrazo, además servía de gran área de origen al músculo extensor radial corto del carpo. En su extremo proximal este tabique formaba un arco aponeurótico por el que pasaba la rama motora del nervio radial, antes de llegar al arco del supinador y pasar al compartimento posterior del antebrazo (Fig. 34B).

Para mostrar el tabique intermuscular lateral del antebrazo, se separó previamente de proximal a distal el origen que el músculo extensor radial corto del carpo tenía sobre el tabique (Fig. 34A).

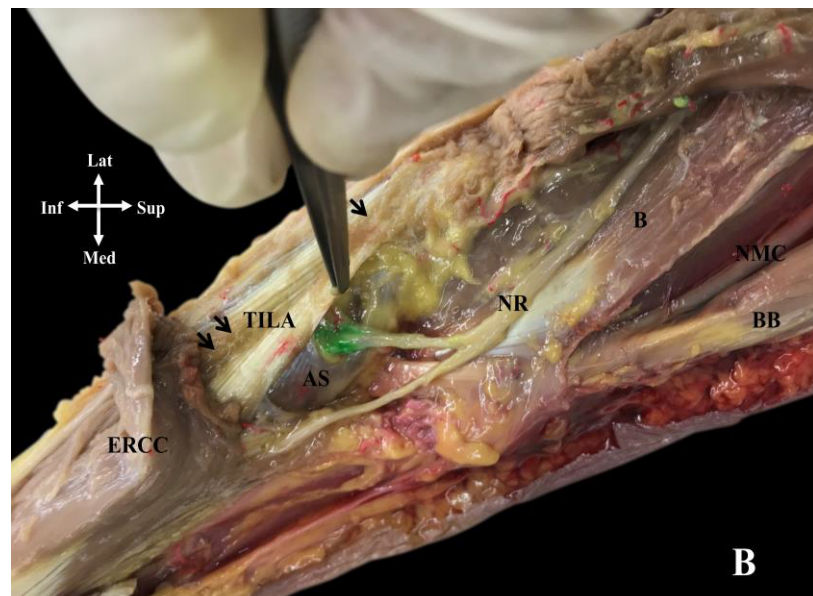
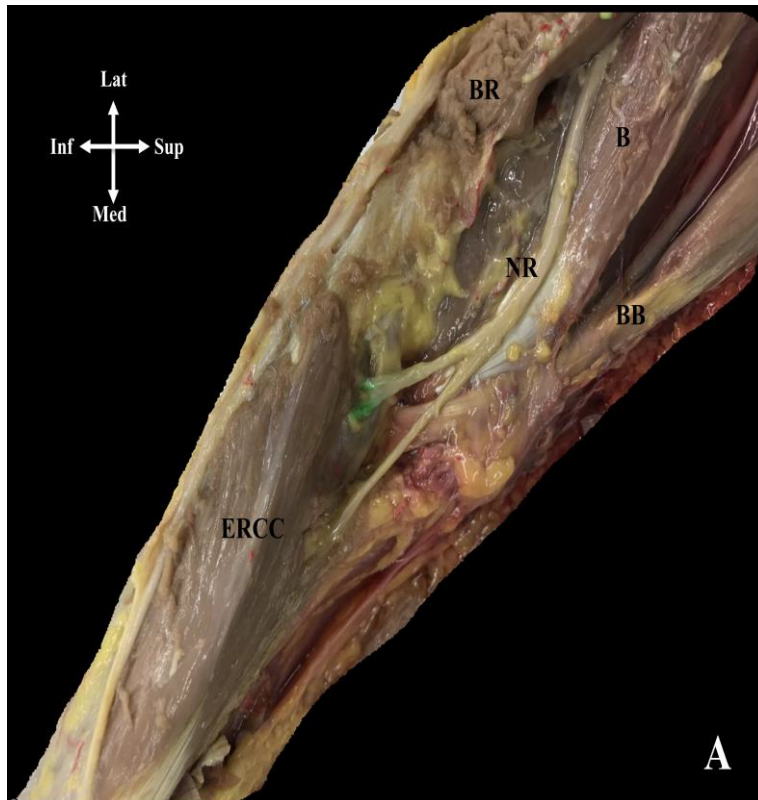


Fig. 34A. En esta imagen se observa la bifurcación del nervio radial (NR) en rama motora y sensitiva. Se mostró el músculo extensor radial corto del carpo (ERCC) antes de ser separado para visualizar el tabique intermuscular lateral del antebrazo (TILA). El músculo braquiorradial (BR) fue eliminado para visualizar de manera clara la fosa anterior del codo.

Fig. 34B. Relación del TILA y el AS (arcada de Fröhse) con la rama motora del NR (tinta verde). Se mostró las inserciones que realiza el músculo ERCC sobre el TILA (marcado con flechas). Además, se

observó la arcada aponeurótica del propio LIMSF por donde pasó el NR. En la parte superior se mostró el deslizamiento del nervio músculo-cutáneo (NMC) entre los músculos braquial (B) y bíceps braquial (BB).

La distancia media tomada desde el arco del supinador al epicóndilo lateral fue de 4.4 ± 0.2 cm (Tabla 4). Además, se observó diferencias entre las arcadas que presentaba el músculo supinador. De esta forma en 1 de los 19 especímenes cruzaba una arcada del músculo de tipo tendinosa o fibrosa, mientras que los 18 restantes presentaban una arcada muscular o membranosa.

DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

El estudio ecográfico y anatómico muestra el sinuoso recorrido que presenta el nervio radial pasando del compartimento posterior al anterior atravesando el tabique intermuscular lateral a nivel del brazo (poniéndose en contacto directo sobre el hueso), para finalmente volver a situarse posterior en el antebrazo a través de la arcada del supinador (o arcada de Frohse). Este recorrido genera unos cambios de orientación que lo predispone a padecer posibles compresiones. Sin embargo, estas compresiones pueden venir también asociadas a anomalías en el tejido miofascial (densificación, fibrosis, acortamiento, retracción, adherencias) que rodean las zonas más problemáticas del recorrido de este nervio. Este estudio ha permitido conocer con precisión su trayectoria y sus relaciones con respecto a los tabiques intermusculares tanto ecográfica como anatómicamente, así como las bandas fibrosas y márgenes musculares y a entender cómo y dónde puede ocurrir la compresión del nervio (4).

El estudio ecográfico realizado sobre el nervio radial confirma la posibilidad de identificar el nervio radial en el 100% de los casos en los diferentes puntos establecidos. Mientras que el nervio cutáneo antebraquial posterior (NCAP) lo identificamos en un 74% de los casos, debido a que tiene un menor diámetro y una gran variabilidad de recorrido que dificulta su localización.

Ecográficamente, los hallazgos muestran el paso de nervio radial a través del tabique a una distancia de $10.5 \text{ cm} \pm 0.8 \text{ cm}$ del epicóndilo lateral y anatómicamente observamos una distancia de $11.3 \text{ cm} \pm 1.1 \text{ cm}$ (Tabla 4). Los resultados ecográficos son similares a otros estudios que muestran una distancia de 9,7 cm (137) o 10 cm (37). Las diferencias obtenidas entre los estudios ecográfico y anatómico muestran buena concordancia entre ellas, con diferencias no significativas.

La salida del NCAP en el compartimento posterior del brazo a través de la fascia profunda y respecto al epicóndilo lateral es de $7,4 \text{ cm} \pm 1.3 \text{ cm}$ medido ecográficamente y de $8,3 \text{ cm} \pm 1.3 \text{ cm}$ en las disecciones anatómicas (Tabla 5). Resultados parecidos muestran los estudios ecográficos realizados por *Maida et al.*, que lo localiza a 7cm (37), mientras que otros estudios anatómicos lo localizan entre 7.24 cm, 6.6 cm (137) o incluso 5 cm. Las posibles explicaciones a las diferencias entre las distancias anatómicas del NCAP, podría encontrarse en los puntos tomados como referencia, o la dificultad en la diferenciación entre fascia superficial y profunda. Aunque este punto

puede ser identificado ecográficamente dentro de un canal formado por el tejido conectivo de la fascia superficial y confirmada con la posterior disección.

Los resultados obtenidos en la gráfica de Bland-Altman sobre el NCAP (Fig. 21) muestran una buena concordancia entre las medidas obtenidas por ambos métodos ecográfico y anatómico. No obstante, las pequeñas diferencias sistemáticas que vemos en nuestro estudio entre las medidas obtenidas ecográficamente y la disección anatómica pueden explicarse por las modificaciones como resultados de la acción de separar los tejidos durante la disección de la extremidad superior. Las distancias entre los diferentes puntos pueden aumentar como consecuencia de la inevitable manipulación de los tejidos.

El NCAP se origina en la cara posterior del brazo, antes que el nervio radial cruce el tabique (37,137,138). Estudios previos han descrito con precisión el recorrido del nervio cutáneo anatómicamente (37,52), sin dar detalles en su relación con otras estructuras miofasciales o de tejido conectivo. Por lo general, los escasos estudios anatómicos centrados en el NCAP han sido dirigidos al diagnóstico e intervención guiados por ecografía (37) (en síndromes de dolor neuropático del antebrazo) (38), o bien para evitar iatrogenia en los procedimientos quirúrgicos (52).

A nuestro entender, la disfunción sobre un nervio no se da únicamente como consecuencia de una compresión, si no que puede darse también por estiramiento o fricción repetitiva en el tiempo (58,139,140). Nos podemos encontrar un correcto rango de movimiento del nervio, pero a la vez una manifestación álgica debida a la tensión nerviosa mantenida por diferentes estructuras (140), como pueden ser, túneles osteofibrosos musculares o aponeuróticos o ambos, etc. (56–58). Los resultados obtenidos en este estudio nos sugieren que la movilidad del nervio radial y su rama cutánea están sometidas a ciertas dificultades en su trayecto. La suma de estos factores junto con movimientos repetitivos de la extremidad superior generados por la práctica de un deporte o en el ejercicio de una profesión pueden determinar la alteración del nervio y consecuentemente el dolor.

Según nuestras observaciones en el estudio anatómico y, de acuerdo también con otros autores, cuando el NCAP se origina a nivel del brazo discurre paralelo al nervio radial y mantiene una estrecha relación con tabique y el músculo VLTB (37,137). El arco fibroso que puede formar las fibras aponeuróticas del músculo VLTB, por donde pasan

el nervio radial y su rama cutánea, puede ser una zona crítica que predisponga a una compresión sobre ellos. En un 16% de los casos (3 casos) nuestra investigación demuestra que el NCAP se separa prematuramente del nervio radial (1cm antes de que este cruce el TIL), a partir de aquí, el NCAP antes de hacerse superficial cruza las fibras musculares del músculo VLTB a través de su perimio. En estos casos se ve facilitada la compresión del nervio como consecuencia de contracciones repetitivas en los movimientos de codo o un exceso de tono en el músculo VLTB. El paciente puede presentar síntomas de dolor y/o parestesias irradiadas en brazo y antebrazo (síntomas parecidos a una epicondilitis lateral).

Los resultados demuestran que cuando el NCAP emerge de la fascia profunda haciéndose subcutáneo, mantiene previamente un recorrido constante por el compartimento posterior del brazo en el 79% de los casos (una proporción similar al 83% hallada por *Hannouche et al.*) (138). Mientras que el 21% restante (4 casos) atraviesa el TIL junto al nervio radial pasando al compartimento anterior del brazo, en dos de estos últimos casos vuelve nuevamente al compartimento posterior siguiendo el trayecto más frecuente del NCAP. Este factor nos sugiere una dificultad en el tránsito del nervio, a la vez que puede facilitar su compresión con las estructuras anatómicas que cruza.

Otra probable causa de compresión sobre el NCAP la encontramos en dos de los casos estudiados pertenecientes al grupo de recorrido clásico (63%, 12 casos). En estos dos casos el NCAP justo antes de atravesar la fascia profunda y hacerse superficial cruzaba un arco fibroso generado por las fibras del VLTB, el cual podría facilitar la fricción del nervio en su deslizamiento.

Finalmente, en su recorrido también se suma el hecho de tener que atravesar desde la fascia profunda a la fascia superficial (en el momento de hacerse subcutáneo), esta zona de transición genera un hiato fascial que rodea la salida del nervio (52,58). Cuando nos encontramos problemas fasciales (densificación, adherencias, fibrosis) el hiato podría convertirse en una zona de estrangulamiento que impida el correcto deslizamiento del nervio. En los casos que encontremos fijación sobre este punto el nervio se deslizará con dificultad (provocando una tracción) causando hipersensibilidad o dolor, o ambos (58). El estrangulamiento puede venir acompañado por la compresión externa ejercida por el tejido que rodea el nervio, aumentando de esta manera el riesgo de lesión (141).

En este punto de emergencia, el NCAP tenía un diámetro de sección transversal de 1.2mm. Debemos tener en cuenta que el atrapamiento del nervio genera variaciones en el diámetro, en este sentido la ecografía puede ser una buena herramienta tanto de diagnóstico como verificación de los resultados al tratamiento (50).

La investigación demuestra que en el 100% de los casos, una vez el NCAP alcanza la fascia superficial pasa anteriormente al epicóndilo lateral, sin embargo, este hallazgo contrasta con otros autores que describen una localización posterior al epicóndilo lateral en su descenso al antebrazo (37,137). El nervio cutáneo se divide en una rama anterior y otra posterior en el 100% de los casos, esta división se realiza a una distancia de 5,7 cm del epicóndilo lateral. *Maida et al.*, únicamente reporta esta bifurcación en 3 de los 10 brazos estudiados (37) mientras que *Brian et al.*, lo encuentra 86% de los casos (53). Estos hallazgos no son particularmente sorprendentes debido al grado de variabilidad anatómica en las ramificaciones del NCAP reportado en literatura (39,49).

La rama posterior finaliza en el epicóndilo lateral y su borde inferior en un 84% de los casos, innervando la piel. En cambio, *Maida et al.*, describe dos ramas subcutáneas, una para la región del epicóndilo lateral, y una más posterior que termina distalmente sobre el músculo anconeal. La rama anterior del NCAP desciende por el antebrazo, y se observa en alguno de los casos una relación con otra estructura como la vena cefálica (Fig. 23), deslizándose paralelas a nivel del antebrazo (38,142). Encontramos el NCAP en un plano más profundo que la vena cefálica (los dos dentro de la fascia superficial) hasta llegar a la parte distal del antebrazo, donde finaliza su trayecto en el mismo plano (este dato resulta importante para la cirugía de la zona). En este sentido nuestros hallazgos concuerdan con los de otros autores que proporcionaron la descripción más extensa del NCAP en sus exámenes anatómicos (137)

Numerosa bibliografía ha descrito el dolor mediado por el nervio radial, pero aún existe una gran controversia acerca de la fisiopatología de esta entidad dolorosa (63). Los numerosos “obstáculos” anatómicos que encontramos en su recorrido pueden ser una explicación al dolor provocado por la compresión del nervio, entre ellos se encuentra como más estudiadas el músculo vasto lateral del tríceps braquial, el tabique intermuscular lateral (5) y la arcada del supinador. Aunque, originalmente se pensaba que las anomalías del nervio se presentaban con disfunciones musculares y raramente acompañadas por dolor (143,144), estudios más recientes han mostrado que las

compresiones no traumáticas del nervio radial son la causa de dolor lateral del brazo, sin conllevar por ello signos clínicos de alteración muscular (5).

De proximal a distal las posibles áreas estudiadas donde el nervio radial puede verse comprometido en su recorrido desde el surco radial hasta la arcada del supinador son:

- En el descenso del nervio radial hacia el codo. En este punto queda protegido por el músculo VLTB y el TIL. Los estudios realizados por *Lars et al.*, han encontrado diferentes irregularidades anatómicas situadas principalmente en el músculo VLTB y el TIL, estas irregularidades pueden interferir en el curso normal del nervio, y consecuentemente favorecer una neuropatía por compresión (5). Nuestro estudio muestra en un 53% de los casos un arco fibroso generado por el músculo VLTB, una proporción similar, aunque algo más elevada, que en otros estudios que lo encontraron en un 40% de los casos (145). El nervio radial se desliza por debajo de este arco para entrar en una aponeurosis longitudinal (formando un túnel) que puede venir generada (como se ha descrito en los resultados), tanto por el mismo músculo VLTB como por el tabique, o bien por ambos. Por este motivo, los nervios en su transcurso por estos túneles pueden enfrentarse al paso por diferentes arcos fibrosos, aumentando la probabilidad de fricción y/o compresión. Para finalizar, en el 100% de los casos encontramos un desdoblamiento del TIL antes de su inserción sobre el húmero, albergando el nervio radial en su interior y acompañándolo en su paso del compartimento posterior al anterior.

Estas aponeurosis y desdoblamientos son refuerzos de las fascias y podrían tener una doble función:

- Rol de protección del nervio. No es la primera vez que se describe el tejido fascial como protector o estabilizador de una estructura nerviosa periférica (85) (esta función estabilizadora se repite en el espacio que describimos a continuación entre los músculos braquial y braquiorradial). En la extremidad superior, el tejido conectivo juega un papel protector sobre los nervios en diferentes puntos. Por ejemplo, cuando el nervio supraescapular se encuentra protegido y fijado por el ligamento transversal superior de la escápula durante su trayecto por la escotadura de la escápula, en el nervio mediano durante la flexión del carpo por el ligamento transversal, e incluso el nervio cubital por las expansiones fasciales en su paso por el canal cubital (146)

- Otra función es servir como puntos de inserción muscular para los músculos que la rodean, en este caso del VLTB. De esta forma se observa que a mayor densificación de la fascia mayor inserción muscular. El tabique favorece el área de anclaje del músculo VLTB sobre el compartimento posterior del brazo, conectando los elementos músculo-esqueléticos (76) y transmitiendo las tensiones musculares entre haces de fibras musculares sinérgicas adyacentes (114), reforzando la idea de una integración ininterrumpida de estas estructuras (76).

Debido a estos obstáculos anatómicos, varios estudios observan que, en su paso por la cara posterior del brazo el nervio radial puede quedar atrapado por las fibras musculares del propio músculo VLTB (147–149) o por los arcos fibrosos mencionados (5,150). Estos arcos tienen una luz variable que depende de las tensiones del tejido que los rodea, haciéndoles capaces de crear una compresión local cuando la luz se ve reducida (150). Los músculos adyacentes a estos arcos también pueden crear una tracción sobre el túnel aponeurótico, lo que llevaría a una reducción de su luz (5), o un aumento de tensión en sus bordes, dificultando el paso del nervio a través de él en esos puntos. La densidad del tejido aponeurótico es superior a la de un tejido conectivo de deslizamiento común, por lo que puede ofrecer resistencia o rozamiento al paso del nervio sobre estos arcos y túneles. Como se ha introducido (las disfunciones de la fascia, el tejido fascial se remodela respondiendo al estado mecánico local, por lo que, si se producen disfunciones en la mecánica del brazo, ello repercutirá directamente en estos arcos aumentando su densidad y tensión.

Apoyando las evidencias de atrapamiento por el tabique intermuscular lateral existen autores que han descrito que el nervio radial está anatómicamente atado al húmero por el tabique, dificultando de esta manera el deslizamiento del nervio. *Benjamin* denomina estos tabiques como “compartimentos osteofasciales” (1). El nervio radial tiene una excursión limitada en comparación con los nervios mediano y cubital (151). *Wayne et al.*, demostró en sus estudios que liberando quirúrgicamente el recorrido del nervio radial sobre el tabique hace que la excursión del nervio aumente en un 36%, cuando situamos el codo en flexión de 90° (151), previniendo así la parálisis iatrogénica del nervio en fracturas de húmero (152). Y en este sentido, tanto *Chesser et al.*, como *Bowman et al* reportan casos en que la parálisis se instaura de forma progresiva desde tres meses hasta incluso 10 años después de una fractura humeral por compresión del nervio a nivel del tabique (2,3). Podemos pensar que existe una posibilidad real de

encontrar a largo plazo una afectación del nervio radial asociada a fracturas de diáfisis humeral. Sugerimos que, en estos casos, el trabajo manual realizado de una forma preventiva y adecuada, enfocado a favorecer el deslizamiento del nervio sobre el tejido conectivo antes de cicatrizar (mejorando su viscoelasticidad), nos puede dar un resultado óptimo evitando los efectos secundarios que podría ocasionar la intervención quirúrgica. Tanto en los problemas quirúrgicos como traumáticos, solo la movilización guiada precozmente permite la curación correcta de las fascias profundas, evitando la formación de fibrosis (119).

El estudio muestra una media en el espesor del TIL (donde es atravesado por el NR) de 1.1 mm, similar al espesor que mostró el estudio de *Tubbs et al.*, de 1.0 mm (46). Pero nuestro estudio quiso mostrar también la relación entre el TIL y el diámetro del NR como posible marcador de sufrimiento del nervio y así se observó que con un espesor del TIL mayor de 1.1 mm existía un aumento de 0.4 mm en el diámetro del NR tanto en el espacio entre los músculos B/BR como en la AS, en comparación con los que tienen un TIL menor de 1.1 mm. Así se podría sugerir que el aumento en el diámetro del nervio radial puede ser debido a un sufrimiento del epineuro en su paso por un TIL de mayor espesor. En esta misma línea se observa que, cuando el TIL es mayor de 1.1 mm la diferencia entre el diámetro del nervio radial tomada a nivel del TIL y la encontrada en el espacio entre B/BR es 0.2 mm más amplio a nivel distal, cuando sería de esperar que hubiese disminuido.

Por otro lado, los resultados demuestran un mayor volumen en las inserciones sobre el TIL por la musculatura del compartimento posterior del brazo (músculo VLTB) que la que vemos en el compartimento anterior, donde encontramos los músculos B, BR, ERLC y, en menor medida el ERCC. En este sentido, podemos deducir que la musculatura del compartimento posterior ejerce una mayor influencia sobre el tabique que no la musculatura anterior. Además, cabe recordar que el tabique está formado por la confluencia de la fascia profunda anterior y posterior del brazo, esto nos hace plantear que disfunciones en la fascia profunda de estos compartimentos, podría transmitir una fuerza que modifique la tensión del TIL. El estudio de este tejido fascial presenta lagunas que todavía deben responderse. Debido a esto, uno de nuestros objetivos fue estudiar la relación de este tejido fascial con el nervio radial y los músculos que rodean su descenso.

En el espacio situado entre los músculos braquial y braquiorradial, algunos autores describen un atrapamiento diferente ubicado en el origen del músculo braquiorradial. Debido a un ángulo estrecho en el espacio generado entre el músculo braquiorradial y húmero (en su inserción proximal sobre el húmero), que comprimiría el nervio radial entre ellos (6). Nuestros hallazgos describen que el atrapamiento en este espacio además puede verse facilitado por el tipo de tejido que conectan ambos músculos B/BR y rodea el nervio en su deslizamiento por el surco bicipital lateral.

- Observamos que, en el 21% de los casos, la relación entre los músculos braquial y braquiorradial fue de tipo vascular o muscular. Este tipo de relación puede favorecer la compresión del nervio debido a que este tejido es menos elástico. Una compresión del nervio entre estos músculos puede también inducir a déficits sensorio-motores del nervio (65).
- En el 79% restante, el epimisio de los músculos braquial y braquiorradial crea puentes de unión alrededor del nervio radial, rodeándolo y formando un túnel por donde se desliza. Estas expansiones del tejido conectivo (en este caso epimisio) sobre el nervio radial podrían tener una función de estabilización, para evitar desplazamientos del nervio en los movimientos de flexo-extensión del codo. Siendo esta relación menos susceptible a la compresión.

Además de estas causas anatómicas, en este espacio de deslizamiento, el nervio debe tener una gran movilidad entre estos dos músculos (15mm según *Wright et al.*) (141) y las condiciones biomecánicas no son del todo favorables. La contracción de los músculos B y BR en los movimientos del codo, produce unos vectores de fuerza que van en sentido opuesto (uno ascendente (B) y el otro descendente (BR)), produciendo tracción y cizallamiento sobre las estructuras que pasan entre ellos. Por ello, es plausible que se produzca una posible compresión del nervio contra el húmero por parte del músculo braquiorradial (6). Todos estos factores pueden explicar que en un 37% de los brazos estudiados observamos en esta área de deslizamiento una apariencia plana del nervio y, no circular. Probablemente el nervio debe adaptarse modificando su morfología al paso por el surco bicipital lateral.

El estudio nos permite considerar que esta situación biomecánica puede verse agravada en profesiones y/o ejercicios que requieran movimientos repetitivos con el antebrazo en

pronación (músicos, conductores de vehículos ferroviarios, culturistas) que se produciría por dos mecanismos:

- Por la mayor activación del músculo Braquial (es un músculo flexor de codo y, se contrae principalmente en pronación), ocasionando un aumento de tensión sobre el tejido conectivo que envuelve el nervio en esta área.
- Por el movimiento de pronación donde la cabeza del radio se inclina hacia abajo y afuera (153) generando más tracción sobre la parte externa del codo (epicóndilo lateral).

Nuestra hipótesis se ve reforzada por los estudios de otros autores observaron que el nervio radial en los movimientos de pronación genera una excursión sobre el codo de 0.7 ± 1.2 mm y una tensión de 2.4 ± 3.5 % mientras que en los movimientos de supinación la excursión es de 0.1 ± 0.1 mm y una tensión de $0.8 \pm 3.5\%$. Tanto la excursión como la tensión son superiores en el movimiento de pronación (141).

Por último, la arcada del músculo supinador es el sitio más descrito y común de compresión de la rama motora del nervio radial (31) aunque en algunos casos la compresión es posible por otras estructuras que se encuentran en esta área como puede ser, el borde medial del músculo extensor radial corto del carpo o por adherencias que unen el nervio a la cápsula de la articulación radio humeral (2,154). Nuestros resultados anatómicos refuerzan los resultados de otros autores (2,154) en la implicación del músculo ERCC en la compresión, pero además, nuestro estudio demuestra una relación directa del nervio con el arco aponeurótico generado por el tabique intermuscular lateral del antebrazo. En el tabique se observa (al igual que en el TIL) una importante inserción de la musculatura posterior del antebrazo, principalmente del músculo ERCC. La fisiopatología descrita sobre el TIL la podemos encontrar también aquí, por lo que creemos, se debe prestar una mayor atención al tabique intermuscular lateral del antebrazo en nuestro abordaje manual.

Con respecto a la arcada del músculo supinador, mediante disección, estudios anteriores muestran un arco fibroso que surge del músculo supinador con forma semicircular de tipo tendinoso en un 87% de los casos y membranoso en un 13% (31,155). Datos similares a nuestro estudio, encontrando en un 95% de los casos un arco fibroso y en un 5% membranoso. Lógicamente, estos arcos pueden verse modificados debido a la profesión o actividad deportiva del paciente, pudiendo aumentar su grado de fibrosis o

su tamaño (33). El arco de tipo membranoso genera menos problema de cara al paso del nervio, ya que sus bordes son más elásticos. Por los resultados obtenidos, el arco aponeurótico generado por el tabique lateral del antebrazo debe ser considerado como una de las causas potenciales en la compresión de la rama motora del nervio radial a nivel del antebrazo.

La falta de deslizamiento del nervio radial en los movimientos de la extremidad superior desempeña un papel importante en el proceso fisiopatológico de la neuropatía del nervio. El nervio radial realiza una excursión y varía su tensión y presión sobre las zonas de interés que se han ido detallando anteriormente. A medida que el codo se flexiona de 0 a 90° la excursión del nervio radial se duplica (151), experimentando un aumento de tensión de aproximadamente un 15% o más. La abducción del hombro en un rango de 30 a 110° requiere una excursión del nervio sobre el codo de 4 mm (141).

La falta de movilidad del nervio conlleva a micro estiramientos del mismo demostrado experimentalmente en el nervio ciático de la rata, en el que una elongación del 15% producía una reducción del flujo sanguíneo en el nervio de un 80% (156). Así mismo, un incremento de presión del 6% sobre el nervio mantenido durante más de 1h da como resultado una disminución en la conducción nerviosa de un 70%, aunque al eliminarse la presión se restablece la normalidad (157,158). Otros autores muestran también que esta presión mantenida en el tiempo por movimientos repetitivos genera un daño acumulativo sobre el nervio (141).

El nervio radial requiere un deslizamiento libre aproximado de 15 mm sobre el codo y 10 mm en la muñeca para realizar los movimientos completos de la extremidad superior (141). Si la excursión del nervio se ve obstruida, es probable que se produzca un efecto de neurodesis (aumento de las fuerzas mecánicas de compresión) en las porciones ancladas del nervio (141). Por lo tanto, cualquier factor que limite la excursión en estas regiones podría generar una tensión repetitiva del nervio, manifestándose a menudo con dolor (141). Consecuentemente, pensamos que los puntos que hemos ido describiendo con detalle en el transcurso de esta tesis doctoral son “puntos calientes” que tienen más posibilidades de producir este efecto fisiopatológico sobre el nervio. Con el tiempo, las tensiones pueden producir problemas mecánicos e isquémicos sobre el nervio (59,141).

El dolor a menudo se manifiesta en puntos de máxima movilidad nerviosa (141), sin embargo, los puntos sensibles a la palpación los encontramos en las zonas donde se

produce la compresión (4). Esta es la manera que tenemos como terapeutas manuales de identificar los puntos atrapados (sensibilidad a la palpación), aunque el dolor que refiere el paciente en la mayoría de los casos es irradiado hacia las zonas distales a la compresión. El signo de Tinel puede ser positivo y recrear síntomas cuando la ubicación del atrapamiento es superficial (56).

Este estudio demuestra que posibles factores mecánicos limitantes a tener en cuenta son los diferentes elementos fasciales que rodean el nervio. Además, la fascia como tal, es una fuente plausible de propiocepción y nocicepción (120), por lo que ella misma puede ser fuente de dolor y sumarse a la patología nerviosa. Uno de los objetivos principales de esta tesis doctoral ha sido evaluar las posibles áreas donde se podría dar esta situación. Pensamos que la falta de deslizamiento y la compresión vienen de la mano, por lo que debemos tener como objetivo en nuestro tratamiento estas disfunciones. En base a esto podemos pensar que las personas que realizan esfuerzos musculares o profesiones que implican un movimiento repetitivo del codo pueden favorecer la irritación del nervio, con la consecuente neuropatía periférica del nervio radial (5, 6, 149, 150).

Nuestro estudio también muestra que en la práctica clínica se debería saber interpretar, la diferencia entre una densificación o una fibrosis fascial que sería un grado mayor de dificultad. Debemos comprender como las células y tejidos implicados responden a las fuerzas, ya que esto nos ayudará a plantear posibles tratamientos (111). La densificación crónica, acaba alterando el deslizamiento entre las capas fibrosas adyacentes (119). Tanto la fascia superficial como la fascia profunda tienen cada una de ellas intercapas que deben deslizarse unas sobre las otras, solo de esta manera podrán desempeñar bien su función, al permitir el deslizamiento de las estructuras vasculares y nerviosas que viajan en su interior. Por tanto, este es un objetivo primordial que debemos considerar en la aplicación del tratamiento.

Creemos que, mejorando el deslizamiento del tejido fascial, no solo mejoramos su viscoelasticidad (133) y la reorganización de los componentes estructurales (119), sino que también mejoramos el deslizamiento de los nervios y las funciones que desempeña la fascia, es decir la protección de tejidos adyacentes, la amortiguación de movimientos, la coordinación motora y la transmisión de cargas mecánicas. *Stecco et al.*, plantea la hipótesis de que cualquier impedimento en el deslizamiento entre las fibras

endofasciales y los planos interfasciales podría causar una tensión anómala, debido a que los mecanorreceptores fasciales envían aferencias propioceptivas que podrían dar lugar a movimientos no fisiológicos (99). En este sentido *Bisset et al.*, observó en sus estudios cambios en la postura de la muñeca en pacientes con epicondilitis lateral, que adoptan un agarre 11° menos de extensión que los controles y un aumento en los tiempos de reacción de las extremidades superiores (20), además, la velocidad de movimiento fue de un 31% más lenta que en los sujetos control (159). Creemos que esta pérdida de 11° en la extensión de muñeca, favorece el desequilibrio entre la musculatura agonista-antagonista, generando más desequilibrio y debilidad sobre los músculos extensores de la muñeca. Parece lógico pues, plantearse que estos hallazgos pueden deberse a las disfunciones fasciales que coexisten en esta patología y, que el abordaje más adecuado debe ir encaminado a restablecer un buen funcionamiento miofascial seguido de una buena reeducación del movimiento.

De acuerdo con los hallazgos encontrados, está plenamente justificada la aplicación de técnicas manuales encaminadas a liberar las tensiones miofasciales y del tejido conectivo en los tratamientos por compresión nerviosa periférica. Tales técnicas deben aplicarse tanto de forma local sobre los puntos estudiados como globalmente en todo el miembro superior, ya que el tejido conectivo miofascial funciona como una unidad funcional. Debemos entender que, para liberar un nervio periférico no solo lo conseguiremos tratando el simple movimiento de deslizamiento del nervio, sino que debemos trabajar, como hemos ido explicando en el desarrollo de esta tesis, sobre el comportamiento biomecánico del tejido conectivo que lo rodea. Por lo que el tratamiento sobre ambos tejidos difícilmente puede entenderse por separado.

No existe acuerdo sobre el tratamiento más indicado para la epicondilitis lateral/dolor lateral del brazo. Hay que saber individualizar cada patología en su contexto y el objetivo de esta tesis es proporcionar nueva información que añada alternativas a los tratamientos clásicos contemplados.

En la actualidad, existe una amplia gama de tratamientos en terapia manual y rehabilitación funcional que se centran en enfoques globales o fasciales para tratar las lesiones musculares (160). Con todo, hay autores que proponen abordajes más analíticos y personalizados. La combinación de pruebas específicas de movimiento y palpación

permiten a los terapeutas determinar que fascias están involucradas en la disfunción (161).

Algunos estudios confirman la efectividad del tratamiento miofascial en la epicondilitis lateral (162). Estas terapias remodelan la fascia en sus diversas formas y a diferentes profundidades de los tejidos (120). Otros autores proponen técnicas que impliquen una fricción manual profunda sobre puntos específicos de la fascia profunda que siempre están a distancia del lugar real del dolor, lo cual permite aplicar el método de forma segura durante la fase álgica aguda (99). Así como, se hipotetiza que la hiperemia causada por la fricción profunda modifica la matriz extracelular y restaura el correcto deslizamiento (99).

Hay otros tratamientos enfocados en el movimiento neural, llamado “neurodinámica”, que, como su nombre indica, consiste en intervenciones dirigidas a afectar las estructuras neurales o el tejido circundante de forma directa o indirecta a través de técnicas manuales o ejercicios (163,164). *Vicenzino et al.*, estudiaron su eficacia en casos de epicondilitis lateral con resultados óptimos (165). El objetivo de la movilización neural es restaurar la función mecánica y neurofisiológica del nervio (166), reduciendo el edema intraneural, aumentando la vascularización y el flujo axoplásmico (164). La combinación de ambos enfoques en el tratamiento manual puede hacer que obtengamos mejores resultados tanto a corto como largo plazo.

La ecografía también ayuda en la localización de estos nervios y alteraciones de las estructuras anatómicas que los rodean, tal como hemos demostrado. El presente estudio muestra la óptima localización mediante ecografía de las zonas susceptibles a atrapamiento, demostrando así que la ecografía puede ser una herramienta eficaz para los terapeutas manuales y además se pueden seguir los cambios generados por el tratamiento manual en el deslizamiento del nervio, y medirse (133) ayudando en el seguimiento de las diferentes patologías. Además, se aconseja su uso para proporcionar una imagen más objetiva de las sensaciones que comúnmente informan los terapeutas manuales y que pueden apoyar el diagnóstico del dolor miofascial (133).

Los resultados obtenidos nos permiten diseñar un protocolo de abordaje manual en problemas de deslizamiento del nervio. Las disfunciones en el tejido se pueden dar por muchas circunstancias o factores: laborales, deportivas, operaciones quirúrgicas o traumatismos, de modo que, inicialmente, junto con un análisis completo de los

antecedentes del caso, se debe realizar una exploración anatómica y ecográfica completa del recorrido del NR/NCAP previa al tratamiento, para elaborar un programa de intervención que integre las diferentes estructuras implicadas en la disfunción de forma global y no atendiendo a un mero enfoque analítico sobre el área donde se localiza el dolor. Una vez establecido el plan de trabajo, planteamos que el tratamiento debe ir dirigido en un primer momento a la mejora de la viscoelasticidad de las fascias tanto superficial como profunda, en el caso de encontrar densificación o fibrosis. En una segunda fase el tratamiento debe ir dirigido a la movilización del nervio radial sobre los puntos estudiados. Los tratamientos del tejido y el nervio van de manera conjunta, pudiendo solaparse en ciertos momentos del desarrollo terapéutico.

Se propone inicialmente el tratamiento dirigido al NCAP, y posteriormente al nervio radial, este último lo desglosaremos como hemos hecho en el transcurso de la memoria de proximal a distal, haciendo paradas sobre las áreas más implicadas en una posible compresión del nervio.

Los resultados anatómicos obtenidos en el recorrido del NCAP muestran una valiosa información sobre la relación que vemos entre el nervio cutáneo y las estructuras miofasciales que lo rodean y acompañan en su recorrido. Dichas relaciones proporcionan una explicación sobre los mecanismos lesionales que pueden producir una compresión del NCAP, permitiéndonos diseñar un tratamiento más preciso dirigido a los tejidos implicados en la lesión.

Si queremos mejorar las tensiones del tabique intermuscular lateral, proponemos un abordaje a través de la musculatura relacionada con él, sobre el músculo VLTB del compartimento posterior y, los músculos B y BR del compartimento anterior. Cuando hablamos de un trabajo sobre la musculatura que rodea el tabique, también incluimos aquí el trabajo sobre la fascia profunda que envuelve estos músculos (para ser más correctos lo llamaremos un trabajo “*miofascial*”). Son las fascias profundas tanto del compartimento anterior como posterior las que acaban uniéndose en la línea media lateral del brazo para formar el TIL. Así pues, el tratamiento consta de dos etapas:

- La atención en un primer momento la dirigimos hacia la fascia profunda, podemos tratarla con el método diseñado por *Stecco et al.*, mediante una fricción manual profunda sobre puntos específicos siempre a distancia del lugar real de dolor (99).

- Posteriormente realizaremos el trabajo manual sobre los músculos anteriormente reseñados. Debemos hacer hincapié en el músculo VLTB, ya que los resultados anatómicos muestran una mayor cantidad de inserción muscular sobre el tabique (por lo que ejerce mayor influencia sobre él). Nuestro objetivo será conseguir la inhibición del tono muscular en el caso que sea elevado, con el objetivo de equilibrar las fuerzas que llegan al TIL de los compartimentos anterior y posterior. Dicho de otra manera, mejorar las tensiones y el equilibrio entre la musculatura agonista y antagonista, evitando así, la densificación del tejido conectivo y favoreciendo el deslizamiento de las estructuras vásculo-nerviosa que viajan junto al tabique.

Creemos también importante subrayar la necesidad del trabajo manual directo sobre el NCAP, realizando pequeños estiramientos del nervio en el punto de emergencia sobre la fascia profunda (58), con el propósito de mejorar el deslizamiento del nervio en los movimientos de extremidad superior. Esta zona de transición entre la fascia profunda y superficial genera un hiato fascial que rodea la salida del nervio (52,58) pudiendo comprometer el nervio a su paso (principalmente cuando nos encontramos densificaciones fasciales). El estiramiento del nervio debe realizarse de forma controlada, de manera lenta y progresiva, para evitar su irritación (56). Para realizar estos estiramientos podemos hacerlo de forma analítica, o bien utilizando movimientos con la palanca del antebrazo (flexo-extensión y prono-supinación) mientras que los dedos del terapeuta realizan una presión suave sobre el hiato de salida del NCAP (permitiendo el deslizamiento del nervio bajo sus dedos).

La localización de los puntos diana donde debemos actuar sobre los nervios los debemos identificar previamente con las medidas de referencia mostradas en el estudio, localizando el punto sensible manualmente o bien mediante ecografía.

Para finalizar el tratamiento sobre el nervio cutáneo, adicionalmente sugerimos un trabajo sobre la fascia superficial, aquí debemos tener en cuenta los factores individuales tanto del tejido adiposo superficial como del tejido adiposo profundo, que pueden variar dependiendo de la zona o del índice de masa corporal de la persona. Debemos incidir en la movilidad de los septos fibrosos entre las diferentes capas de la fascia superficial haciendo deslizar el nervio cutáneo bajo nuestros dedos. Con la intención de liberar las áreas de tensión que pueda haber en su recorrido superficial. Como hemos mencionado, la fascia superficial está ricamente inervada por

terminaciones tipo Ruffini y Pacini, por lo que debemos utilizar técnicas específicas para poder estimular estos mecanorreceptores de forma adecuada, como por ejemplo, presión profunda, toques ligeros, estiramientos, tensión o vibración (101,102). De esta manera mejoraremos la sensibilidad perceptiva de la zona.

Respecto al nervio radial, los resultados anatómicos obtenidos sugieren mecanismos de tratamiento similares al nervio cutáneo. En el caso del nervio radial toma mayor relevancia el trabajo sobre el tabique intermuscular lateral, debido a que el nervio lo atraviesa. Debemos recordar que el tabique a nivel superior tiene como origen la V deltoidea y a nivel inferior el epicóndilo lateral. Nuestros resultados concuerdan con estudios previos de otros autores (46) que presentan una relación distal del tabique sobre el ligamento anular que rodea la cabeza del radio. Estos hallazgos nos sugieren que el trabajo sobre el tabique debe ser abordado de forma global, trabajando la musculatura que lo rodea de forma directa (como hemos explicado anteriormente), o bien desde las palancas superior del hombro e inferior del codo.

En relación con este protocolo, otros autores han realizado un estudio clínico en pacientes que presentaban epicondilitis lateral. Este estudio muestra resultados óptimos a largo plazo (3 meses) en pacientes en los que el tratamiento se dirigió a liberar la tensión neural del nervio radial, mediante la movilización de la cabeza del radio, y movilizaciones específicas directas sobre el nervio (167). Este estudio apoya la idea del trabajo sobre la palanca inferior, ya que liberando de forma mecánica la cabeza del radio podemos mejorar el deslizamiento del nervio radial sobre la extremidad superior de dos maneras:

- De forma directa sobre la arcada de Frohse (debido a que se origina sobre la cabeza del radio)
- De forma indirecta, por la relación que hay entre el ligamento anular y el TIL (un bloqueo en esta articulación puede afectar de forma directa las tensiones del tabique).

Finalizaremos el tratamiento sobre el TIL con movilizaciones del nervio. Así como sucede con el nervio cutáneo, el nervio radial, cuando cruza el tabique, se hace más superficial (pudiéndose palpar directamente). Esta situación favorece el trabajo directo de movilización sobre el nervio, utilizando la misma mecánica explicada anteriormente para el nervio cutáneo, cambiando únicamente los puntos donde realizamos la presión.

Siguiendo el descenso del nervio radial, en el espacio de deslizamiento entre los músculos braquial y braquiorradial, proponemos inicialmente un trabajo sobre el tejido conectivo que une estos dos músculos para permitir un buen deslizamiento entre ellos y las estructuras que viajan en su interior. Esto se puede abordar mediante movimientos de flexo-extensión del codo, tanto pasivos como activos por parte del paciente (168) y finalizar, con un trabajo directo sobre el nervio para mejorar su deslizamiento en esta interfase (misma ejecución que el nervio cutáneo). Como hemos dicho anteriormente, debemos localizar previamente el nervio radial en el área de referencia, y el estudio ecográfico tal como hemos demostrado es de gran utilidad.

Para finalizar nos centramos en la última área estudiada, la arcada del músculo supinador. Aquí el trabajo irá dirigido en un primer momento sobre el músculo supinador corto, ya descrito extensamente en la literatura. Posteriormente proponemos un trabajo manual directo sobre el arco aponeurótico formado por el tabique lateral del antebrazo. El tratamiento lo realizaremos de la misma manera que en el TIL, incidiendo sobre la fascia profunda y sobre el músculo extensor radial corto del carpo (ya que este músculo ejerce mayor influencia sobre el tabique por su gran área de inserción).

Por regla general, durante el trabajo manual dirigido al tejido fascial y neural, al ser puntos sensibles, el paciente experimenta dolor, por lo que debemos saber adaptarnos a la tolerancia individual de cada paciente. Sin embargo, a menudo los beneficios experimentados superan las desventajas del malestar experimentado (169) por lo que el umbral de tolerancia al dolor puede ir modificándose a lo largo de un programa de intervención.

El trabajo realizado sobre las áreas estudiadas debe ir acompañado también de la reeducación en los movimientos de la EESS, generando nuevamente patrones motores adecuados que quizás se han ido modificando o perdiendo debido al dolor. Debemos evaluar previamente los patrones anormales que afecten a la extremidad superior (56) y activar patrones específicos que contribuyen a la percepción de la buena dirección motora (112). Este modo de trabajo es imprescindible por la gran cantidad de receptores propioceptivos que se sitúan en la fascia. El sistema nervioso central probablemente designa un significado espacial a las distintas secuencias miofasciales, basándose en vectores anatómicos predeterminados que influyen en los patrones de movimiento biomecánicos (170).

Así pues, no es descabellado suponer que la aplicación de un correcto tratamiento manual generaría un efecto de remodelación basado en una mayor síntesis y deposición de ácido hialurónico, permitiendo un mejor deslizamiento entre las diferentes capas fasciales. A su vez, debido a que la fascia perivascular y perineural contiene altos niveles de ácido hialurónico, nos permitiría también mejorar el deslizamiento de estas estructuras vásculo-nerviosas (93,95). Creemos que las diferentes zonas por donde transcurre el nervio radial descritas en esta tesis doctoral son más susceptibles al sufrimiento biomecánico de los tejidos implicados (fascial, nervioso, vascular y muscular). En última instancia, todas estas circunstancias acaban generando una pérdida de libertad en la excursión del nervio en los movimientos de EESS, facilitando de esta manera la irritación y compresión del tejido neural, para finalmente cerrar el círculo con la manifestación de uno de los síntomas más relevantes "el dolor", que es el factor causal de la pérdida de calidad de vida, ya sea en el plano funcional o incluso en el psicológico, de los pacientes.

LIMITACIONES

Este estudio tiene algunas limitaciones, debido a que los resultados obtenidos no han podido contrastarse con un estudio clínico que pueda confirmar la aplicación de un tratamiento manual dirigido al tejido miofascial y movilidad neural en compresiones del NR/NCAP. Sin embargo, creemos que nuestra hipótesis es perfectamente plausible, puesto que se ha informado de las relaciones de los nervios estudiados con diferentes fascias y estructuras que puede ser de utilidad práctica en la aplicación de técnicas manuales en otras patologías similares. Y sería, por tanto, una primera opción a aplicar en este tipo de intervenciones antes de otras técnicas más agresivas, como las infiltraciones anestésicas o la cirugía de descompresión.

Otra limitación de tipo metodológico es la medición del diámetro de los nervios estudiados, ya que ha sido realizada sobre cadáveres y por tanto puede variar con respecto de los diámetros en condiciones in vivo.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. Los hallazgos ecográficos demuestran la posibilidad de identificar el nervio radial en los diferentes puntos establecidos en el 100% de los casos, mientras que el nervio cutáneo antebraquial posterior en un 74% de los casos, debido a que tiene un menor diámetro y una gran variabilidad anatómica durante su trayecto.
2. El nervio radial y nervio cutáneo antebraquial posterior presentan durante todo su recorrido una relación estrecha con tejido fascial adiposo o conectivo que puede implicar atrapamientos y problemas de deslizamiento de los mismos.
3. El recorrido del nervio radial en el brazo presenta diferentes irregularidades e interferencias, como el desdoblamiento tabique intermuscular lateral que forma un túnel aponeurótico por donde se desliza el nervio radial.
4. Existe tejido conectivo entre los músculos braquial y braquiorradial por donde se desliza el nervio radial y puede interferir en el recorrido del nervio.
5. Las relaciones anatómicas del nervio radial encontradas en el brazo, podrían hacer más probable el atrapamiento del mismo en el brazo y no en el antebrazo como se pensaba hasta el momento.
6. El tabique intermuscular lateral del antebrazo podría intervenir, tanto en las lesiones miotendinosas como en la compresión del nervio radial.
7. El trayecto del nervio cutáneo antebraquial posterior (tanto en su origen, como en sus ramificaciones) presenta una gran variabilidad a tener en cuenta para su localización ecográfica, en el abordaje quirúrgico de esta área, en inyecciones de anestesia local o incluso para el estudio de la conducción nerviosa.
8. La salida del nervio cutáneo antebraquial posterior hacia el tejido subcutáneo a través de la fascia braquial puede ser lugar potencial de compresión

BIBLIOGRAFÍA

1. Benjamin M. The fascia of the limbs and back—a review. *J Anat* 2009 Jan;214(1):1-18.
2. Bowman J, Curnutte B, Andrews K, Stirton J, Ebranheim N, Mustapha AA. Lateral intermuscular septum as cause of radial nerve compression: case report and review of the literature. *J Surg Case Rep* 2018Aug;22(8):rjy226.
3. Chesser TJ, Leslie IJ. Radial nerve entrapment by the lateral intermuscular septum after trauma. *J Orthop Trauma* 2000 Jan;14(1):65-66.
4. Lubahn JD, Cermak MB. Uncommon nerve compression syndromes of the upper extremity. *J Am Acad Orthop Surg* 1998 Nov-Dec; 6(6):378-386.
5. Adolfsson LE, Nettelblad H. Radial nerve entrapment in the upper arm as a cause of lateral arm pain: a report of four cases. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 2001 Jun; 35(2):217-220.
6. Cherchel A, Zirak C, Mey AD. The humeral origin of the brachioradialis muscle: an unusual site of high radial nerve compression. *J Plat Reconstr Aesthet Surg* 2013 Nov;66(11):e325-327.
7. Lee JT, Azari K, Jones NF. Long term results of radial tunnel release—the effect of coexisting tennis elbow, multiple compression syndromes and workers' compensation. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2008 sep;61(9):1095-1099.
8. Amador EV, Ramírez A. Anatomic study of the extensor carpi radialis brevis in its relation with the motor branch of the radial nerve. *Orthop Traumatol Surg Res* 2015 Dec;101(8):909-912.
9. Kotnis NA, Chiavaras MM, Harish S. Lateral epicondylitis and beyond: imaging of lateral elbow pain with clinica-radiologic correlation. *Skeletal Radiol* 2012 Apr;41(4):369-386.
10. Shiri R, Juntura EV, Varonen H, Heliövaara M. Prevalence and determinantsof lateral and medial epicondilitis: a population study. *Am J Epidemiol* 2006 Dec 1;164(11):1065-1074.
11. Ruiz DMC. Epicondilitis lateral: conceptos de actualidad. Revision de tema. *Rev Med* 2011;19(1):74-81.
12. Bernhang AM, Dehner W, Fogarty C. Tennis elbow: a biomechanical approach. *J Sports Me* 1974 Sep-Oct;2(5):235-260.
13. Tosti R, Jennings J, Sowards JM. Lateral epicondylitis of the elbow. *Am J Med* 2013 Apr;126(4):357.e1-6.

14. Wilk KE, Macria LC, Cain EL, Dugas JR. Rehabilitation of the overhead athlete's elbow. *Sports Health a Multidisciplinary Approach* 2012 Sep 4(5):404-414.
15. Pilat A. Tratamiento de la epicondilitis humeral externa con las técnicas de terapia manual. *Investigación* 4 1996 ene-feb;Vol.4:14.
16. Goldie I. Epicondylitis lateralis humeri (epicondylalgia or tennis elbow). A pathogenetical study. *Acta Chir Scand Suppl* 1964;57:339:1.
17. Leadbetter WB. Cell-matrix response in tendon injury. *Clin Sports Med* 1992 Jul;11(3):533-578.
18. Ellenbecker TS, Nirschl R, Renstrom P. Current concepts in examination and treatment of elbow tendon injury. *Sports Health* 2013 Mar;5(2):186-194.
19. Vicenzino B, Cleland JA, Bisset L. Joint manipulation in the management of lateral epicondylalgia: a clinical commentary. *J Man Manip Ther* 2007;15(1):50-56.
20. Bisset LM, Russell T, Bradley S, Ha B, Vicenzino B. Bilateral sensorimotor abnormalities in unilateral lateral epicondylalgia. *Arch Phys Med Rehabil* 2006 Apr;87(4):490-495.
21. Bigorre N, Raimbeau G, Fouque PA, Cast YS, Rabarin F, Cesari B. Lateral epicondylitis treatment by extensor carpi radiales fasciotomy and radial nerve decompression: is outcome influenced by the occupational disease compensation aspect? *Orthop Traumatol Surg Res* 2011 Apr;97(2):159-163.
22. Nayak SR, Ramanathan L, Krishnamurthy A, Prabhu L, Madhyastha S, Potu BK, et al. Extensor carpi radialis brevis origin, nerve supply and its role in lateral epicondylitis. *Surg Radiol Anat* 2010 Mar;32(3):207-2011.
23. Coombes BK, Bisset L, Vicenzino B. A new integrative model of lateral epicondylalgia. *Br J Sports Med* 2009 Apr;43(4):252-258.
24. Miyazaki AN, Fregoneze M, Santos PD, Silvia LA, Pires DC, Neto JA, et al. Evaluation of the results from arthroscopic treatment of the lateral epicondylitis. *Rev Bras Ortop* 2015 Nov 16;45(2):136-140.
25. Bisset L, Elaine Beller, Jull G, Brooks P, Darnell R, Vicenzino B. mobilization with movement and exercise, corticosteroid injection, or wait and see for tennis elbow: randomized trial. *BMJ* 2006 Nov 4;333(7575):939.
26. Lai WC, Erickson BJ, Mlynarek R, Wang D. Chronic lateral epicondylitis: challenges and solutions. *Open Acces J Sports Med* 2018 Oct 30;9:243-251.

27. Berry N, Neumaister MW, Russell RC, Dellon AL. Epicondylectomy versus denervation for lateral humeral epicondylitis. *Hand (NY)* 2011 Jun;6(2):174-178.
28. Monrrey Me, Dean BJF, Carr AJ, Monrrey BF. Tendinopathy: same disease different results---why?. *Oper Tech Orthop* 2013 Jun;23(2):39-49.
29. Doyle JJ, David WS. Posterior antebrachial cutaneous neuropathy associated with lateral elbow pain. *Muscle Nerve* 1993 Dec;16(12):1417-1418.
30. Mackinnon SE, Novak CB. Compression Neuropathies. In: Wolfe SW, editor. *Green's Operative Hand Surgery*. 6th edition. Philadelphia: Elsevier; 2011, pp.977-1014.
31. Clavert P, Lutz JC, Adam P, Gabel RW, Liverneaux P, Kahn JL. Frohse's arcade is not the exclusive compression site of the radial nerve in its tunnel. *Orthop Traumatol Surg Res* 2009 Apr;95(2):114-118.
32. Gürçay E, Karaahmet ÖZ, Kara M, Onat SS, Ata AM, Ünlü E, et al. Ultrasonographic evaluation of the radial nerves in patients with unilateral refractory lateral epicondylitis 2017 Mar;18(3):396-402.
33. Lister GD, Belsole RB, Kleineert HE. The radial tunnel syndrome. *J Hand Surg Am* 1979 Jan;4(1):52-59.
34. Bigorre N, Raimbeau G, Fouque PA, Cast YS, Rabarin F, Cesari B. Lateral epicondylitis treatment by extensor carpi radiales fasciotomy and radial nerve decompression: is outcome influenced by the occupational disease compensation aspect? *Orthop Traumatol Surg Res* 2011 Apr;97(2):159-163.
35. Stanley J. Radial tunnel syndrome: a surgeon's perspective. *J Hand Ther* 2006 Apr-Jun;19(2):180-184.
36. Li H, Zhu W, Wu S, Wei Z, Yang S. Anatomical analysis of antebrachial cutaneous nerve distribution pattern and its clinical implications for sensory reconstruction. *PLoS One* 2019 Sep 11;14(9): e0222335
37. Maida E, Chiavaras MM, Jelsing EJ, O'Driscoll SW, Pawlina W, Smith J. Sonographic visualization of the posterior cutaneous nerve of the forearm: Technique and validation using perineural injections in a cadaveric model. *J Ultrasound Me* 2017 Aug;36(8):1627-1637.
38. Moritz T, Prosch H, Pivec CH, Sachs A, Pretterklieber M, Kriechbaumer L, et al. High-resolution ultrasound visualization of the subcutaneous nerves of the forearm: a feasibility study in anatomic specimens. *Muscle Nerve* 2014 May;49(5):676-679.

39. Rose NE, Forman SK, Dellon AL. Denervation of the lateral humeral epicondyle for treatment of chronic lateral epicondylitis. *J Hand Surg Am* 2013 Feb;38(2):344-349.
40. Wagle S, Glazebrook K, Moynagh M, Smith J, Sellon J, Skinner J, et al. Role of ultrasound-guided perineural injection of the posterior antebrachial cutaneous nerve for diagnosis and potential treatment of chronic lateral elbow pain. *Skeletal Radiol* 2021 Feb;50(2):425-430.
41. Cho H, Lee HY, Gil YC, Choi YR, Yang HJ. Topographical anatomy of the radial nerve and its muscular branches related to surface landmarks. *Clin Anat* 2013 Oct;26(7):862-869.
42. Barton NJ. Radial nerve lesions. *Hand* 1973 Oct;5(3):200-208.
43. Gray H. *Anatomy of the human body*. 20th ed. Philadelphia: Lea & Febiger; 1918, pp. 943-944.
44. Testut L, Latarjet A. *Tratado de Anatomía Humana*. Tomo II. Barcelona: Salvat editores; 1984, pp.759-813.
45. Rubin M, Safdieh E.J. *Netter: Neuroanatomía esencial*. España: Medica Panamericana; 2008, pp.117-118.
46. Tubbs RS, Apaydin N, Uz A, Sullivan A, Loukas M, Shoja MM, et al. Anatomy of the lateral intermuscular septum of the arm and its relationships to the radial nerve and its proximal branches. Laboratory investigation. *J Neurosurg* 2009 Aug;11(2):336-339.
47. Whitaker RH, Robert H, Borley NR. *Instant anatomy*. 4th ed. Oxford: Wiley-Blackwell; 2010, pp. 116-117.
48. Cerda A, Suazo GA. Bilateral communications of the musculocutaneous and median nerves. Morphological aspects and clinical significance. *Int. J. Morphol* 2012;30(2):651-655.
49. Dellon AL, Kim J, Ducic I. Painful neuroma of the posterior cutaneous nerve of the forearm after surgery for lateral humeral epicondylitis. *J Hand Surg AM* 2004 May;29(3):387-390.
50. Chang KV, Mezian K, Nanka O, Wu WT, Lou YM, Wang JC, et al. Ultrasound imaging for the cutaneous nerves of the extremities and relevant entrapment syndromes: from anatomy to clinical implications. *J Clin Med* 2018 Nov21;7(11):457.

51. Sajadi S, Mansoori K, Raissi GR, Razavi SZE, Ghajarzadeh M. Normal values of posterior antebrachial cutaneous nerve conduction study related to age, gender, height, and body mass index. *J Clin Neurophysiol* 2014 Dec;31(6):523-528.
52. Starr BW, Lee DS, Stern PJ. Anatomy of the posterior antebrachial cutaneous nerve, revisited. *J Hand Surg Am* 2020 Apr;45(4):360.e-360.e4.
53. Ikiz ZAA, Uçerler H. Anatomic characteristics and clinical importance of the superficial branch of the radial nerve. *Surg Radiol Anat* 2004Dec;26(6):453-458.
54. Dellon AL, MacKinnon SE. Injury to the medial antebrachial cutaneous nerve during cubital tunnel surgery. *J Hand Surg Br* 1985Feb;10(1):33-36.
55. Moller I, Miguel M, Bong DA, Zaottini F, Martinoli C. The peripheral nerves: update on ultrasound and magnetic resonance imaging. *Clinical and Experimental Rheumatology* 2018 Sep-Oct;36 Suppl114(5):145-158.
56. Martin R, Martin HD, Kivlan BR. Nerve entrapment in the hip region: current concepts review. *Int J Sports Phys Ther* 2017 Dec;12(7):1163-1173.
57. Martinoli C, Miguel-Perez M, Padua L, Gandolfo N, Zicca A, Tagliafico A. Imaging of neuropathies about the hip. *Eur J Radiol* 2013 Jan;82(1):17-26.
58. Barral JP, Croibier A. *Manual Therapy for the Pheripheral Nerves*. 1st ed. Elsevier-Masson Paris; 2009, pp. 24-73.
59. Dahlin LB. Aspects on pathophysiology of nerve entrapments and nerve compression injuries. *Neurosurg Clin N Am* 1991 Jan;2(1):21-29.
60. Millesi H, Rath Zöch G, Rath T. The gliding apparatus of peripheral nerve and its clinical significance. *Ann Chir Main Memb Super* 1990;9(2):87-97.
61. Lundborg G. Étude de la structure microvasculaire et de la fonction des nerfs Périphériques en relation avec les traumatismes nerveus et l'ischémie des membres. In: Tubiana R, Ed. *Traité de chirurgie de la main*. Paris: Masson;1980, pp. 634-648
62. Rempel D, Dahlin L, Lundborg G. Pathophysiology of nerve compression syndromes: response of peripheral nerves to loading. *J Bone Joint Surg Am* 1999 Nov;81(11):1600-1610.
63. van Rossum J, Buruma OJ, Kamphuisen HA, Onvlee GJ. Tennis elbow--a radial tunnel syndrome? *J Bone Joint Surg* 1978 May;60-B(2):197-198.
64. Pascarelli EF, Hsu YP. Understanding work-related upper extremity disorders: clinical findings in 485 computer users, musicians, and others. *J Occup Rehabil* 2001Mar;11(1):1-21.

65. Lee YK, Kim YI, Choy WS. Radial nerve compression between the brachialis and brachioradialis muscles in a manual worker: a case report. *J Hand Surg Am* 2006 May-Jun;31(5):744-746.
66. Prakash KM, Leoh TH, Dan YF, Nurjannah S, Tan YE, Xu LQ, et al. Posterior antebrachial cutaneous nerve conduction studies in normal subjects. *Clin Neurophysiol* 2004 Apr;115(4):752-754.
67. Mancheno G, Martínez M, Tejera B, Olivé A. Wartenberg's syndrome. *Seminarios fundación Española de Reumatología* 2011Oct;12(4):128-130.
68. Patel A, Pierce P, Chiu DTW. A fascial band implicated in Wartenberg syndrome. *Plast Reconstr Surg* 2014 Mar;133(3):440e-442e.
69. Belzile E, Cloutier D. Entrapment of the lateral antebrachial cutaneous nerve exiting through the forearm fascia. *J Hand Surg Am*. 2001 Jan;26(1):64-67.
70. Paraskevas G, Tsitsopoulos PP, Papaziogas B, Natsis K, Kitsoulis P. Evidence of lateral antebrachial cutaneous nerve entrapment during autopsy. *Folia Morphol (Warsz)* 2008 Aug;67(3):218-220.
71. Yildiz N, Ardic F. A rare cause of forearm pain: anterior branch of the medial antebrachial cutaneous nerve injury: a case report. *J Brachial Plex Peripher Nerve Inj* 2008 Apr 21;3:10.
72. Myers TW. *Anatomy trains: myofascial meridians for manual and movement therapists*. 2da ed. Barcelona: Elsevier Masson; 2009, pp. 15-61.
73. Viera L. Embryology of the fascial system. *Cureus* 2020 Aug30;12(8):e10134.
74. Bordoni B, Morabito B. Reflections on the development of fascial tissue: starting from embryology. *Adv Med Educ Pract* 2020 Jan14;11:37-39.
75. Langevin HM, Huijing PA. Communicating about fascia: history, pitfalls, and recommendations. *Int J Ther Massage Bodywork* 2009Dec7;2(4):3-8.
76. Schultz L, Feitis R. *The endless web Fascial Anatomy and Physical Reality*. Berkeley: North Atlantic Books;1996, pp. 21-46.
77. Paoletti S. *Las fascias. El papel de los tejidos en la mecánica humana*. Barcelona: Paidotribo; 2004, pp. 127-167
78. Langevin HM. Connective tissue: a body-wide signaling network? *Med Hypothesis* 2006;66(6):1074-1077.
79. Latridis JC, Wu J, Yandow JA, Langevin HM. Subcutaneous tissue mechanical behavior is linear and viscoelastic under uniaxial tension. *Connect Tissue res* 2003;44(5):208-217.

80. Purslow PP. The structure and functional significance of variations in the connective tissue within muscle. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 2002 Dec;133(4):947-966.
81. Huijing PA, van de Langenberg, Rolf W, Meesters JJ, Baan GC. Extramuscular myofascial force transmission also occurs between synergistic muscles and antagonistic muscles. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 2007 Dec;17(6):680-689.
82. Eagan TS, Meltzer KR, Standley PR. Importance of strain direction in regulating human fibroblast proliferation and cytokine secretion: a useful in vitro model for soft tissue injury and manual medicine treatments. *J Manipulative Physiol Ther* 2007 Oct;30(8):584-592.
83. Meltzer KR, Cao TV, Schad JF, King H, Stoll ST, Standley PR. In vitro modeling of repetitive motion injury and myofascial release. *J Bodywork Movement Ther* 2010 Apr;14(2):162-171.
84. Schleip R, Klingler W, Lehmann-Horn F. Active fascial contractility: Fascia is able to contract in a smooth muscle-like manner and thereby influence musculoskeletal dynamics. *Med Hypotheses* 2005;65(2):273-277.
85. Kumka M, Bonar J. Fascia: a morphological description and classification system based on a literature review. *J Can Chiropr Assoc* 2012 Sep; 56(3):179-191.
86. Culav EM, Clark CH, Merrilees MJ. Connective tissues: matrix composition and its relevance to physical therapy. *Phys Ther* 1999 Mar;79(3):308-319.
87. Gelse K, Pöschl E, Aigner T. Collagens—structure, function, and biosynthesis. *Adv Drug Deliv Rev* 2003 Nov;55(12):1531-1546.
88. Ross MH, Pawlina P. *Histology: a text and atlas: with correlated cell and molecular biology*. 6th ed. Baltimore: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins; 2011, pp. 146-180.
89. Kawamata S, Ozawa J, Hashimoto M, Kurose T, Shinohara H. Structure of the rat subcutaneous connective tissue in relation to its sliding mechanism. *Arch Histol Cytol* 2003 Aug;66(3):273-279.
90. LeMoon K. Terminology used in fascia research. *J Bodyw Mov Ther*. 2008;12(3):204-212.
91. Akeson WH, Amiel D, LaViolette D. The connective-tissue response to immobility: a Study of the chondroitin-4 and 6-sulfate and dermatan sulfate

- changes in periarticular connective tissue of control and immobilized knee of dogs. *Clin Orthop* 1967 Mar-Apr;51:183-197.
92. Laurent C, Johnson-Wells G, Hellstro S, Engstrom-Laurent A, Wells AF. Localization of hyaluronan in various muscular tissues. A morphological study in the rat. *Cell Tissue Res* 1991 Feb;263(2):201-205.
 93. Piehl-Aulin K, Laurent C, Engstrom-Laurent A, Hellstrom S, Henriksson J. Hyaluronan in human skeletal muscle of lower extremity: concentration, distribution, and effect of exercise. *J Appl Physiol* (1985) 1991 Dec;71(6):2493-2498.
 94. Stecco C, Macchi V, Porzionato A, Duparc F, De Caro R. The fascia: the forgotten structure. *Ital J Anat Embryol* 2011;116(3):127-138.
 95. Stecco C, Hammer W, Wleeming A, De caro R. *Functional Atlas of the Human Fascial System*. Edinburgh: Churchill Livingstone Elsevier; 2015, pp. 21-98.
 96. Sterzi G. *Il tessuto sottocutaneo (tela subcutánea)*. Firenze: Luigi Niccolai; 1910, pp. 1-50.
 97. Nash LG, Phillips MN, Nicholson H, Barnett R, Zhang M. Skin ligaments: regional distribution and variation in morphology. *Clin Anat* 2004 May;17(4):287-293.
 98. Abu-Hijleh M, Roshier A, Al-Shboul Q, Dharap aS, Harris PF. The membranous layer of superficial fascia: evidence for its widespread distribution in the body. *Surg Radiol Anat* 2006 Dec;28(6):606-619.
 99. Stecco C, Ann J. The fascial manipulation technique and its biomechanical model: a guide to the human fascial system. *Int J Ther Massage Bodywork* 2010Mar;17;3(1):38-40.
 100. Hauck G, Castenholz A. Contribution of prelymphatic structures to lymph drainage. *Z. Lymphol* 1992 Dec;16(1):6-9.
 101. Scheleip R. Fascial plasticity—a new neurobiological explanation: Part 1. *J Bodyw Mov Ther* 2003;7(1):11-19.
 102. Scheleip R. Fascial plasticity—a new neurobiological explanation: Part 2. *J Bodyw Mov Ther* 2003;7(2):104-116.
 103. Nakajima H, Imanishi N, Minabe T, Kishi K, Aiso S. Anatomical study of subcutaneous adipofascial tissue: a concept of the protective adipofascial system (PAFS) and lubricant adipofascial system (LAFS). *Scand. J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 2004;38(5):261-266.

104. Stecco C, Gagey O, Belloni A, Pozzuoli A, Porzionato A, Macchi V, et al. Anatomy of? The Deep fascia of the upper limb. Second part: study of innervation. *Morphologie*. 2007 Mar;91(292):38-43.
105. Stedman JL. Stedman's Medical Dictionary. 25th ed. Baltimore. Williams & Wilkins; 1996, p.628.
106. Hedley G. Notes on visceral adhesions as fascial pathology. *J Bodyw Mov Ther* 2010 Jul;14(3):255-261.
107. Wavreille G, Bricout J, Mouliade S, Lemoine S, Prodhomme G, Khanchandani P, et al. Anatomical bases of the free posterior brachial fascial flap. *Surg Radiol Anat* 2010 Apr;32(4):393-399
108. Piehl-Aulin K, Laurent C, Engström-Laurent A. Hyaluronan in human skeletal muscle of lower extremity: concentration, distribution, and effect of exercise. *J Appl Physiol* 1991;71(6):2493-2498.
109. McCombre D, Brown T, Slavin J, Morrison WA. The histochemical structure of the deep fascia and its structural response to surgery. *J Hand Surg* 2001 Apr;26(2):89-97.
110. Lee JY, Spicer AP. Hyaluronan: a multifunctional, megadalton, stealth molecule. *Curr Opin Cell Biol*. 2000 Oct;12(5):581-586.
111. Findley TW. Fascia science and clinical applications: a clinical/researcher's perspectives. *J Bodyw Mov Ther* 2012 Jan;16(1):64-66.
112. Stecco A, Macchi V, Stecco C, Porzionato A, Ann J, Delmas V, De Caro R. Anatomical study of myofascial continuity in the anterior region of the upper limb. *J Bodyw Mov Ther* 2009Jan;13(1):53-62.
113. Stecco C, Porzionato A, Macchi V, Stecco A, Vigato E, Parenti A, et al. The expansions of the pectoral girdle muscles onto the brachial fascia: morphological aspects and spatial disposition. *Cells Tissues Organs* 2008;188(3):320-329.
114. Stecco C, Porzionato A, Macchi V, Tiengo C, Parenti A, Aldegheri R, et al. Histological characteristics of the deep fascia of the upper limb. *Ital J Anat Embryol* 2006Apr;111(2):105-110.
115. Stecco C, Gagey O, Macchi V, Porzionato A, Caro RD, Aldegheri R, Delmas V. Tendinous muscular insertions onto the Deep fascia of the upper limb. First anatomical study. *Morphologie* 2007Mar;91(292):29-37.

116. Huijing PA, Mass H, Baan GC. Compartmental fasciotomy and isolating muscle from neighboring muscles interfere with myofascial force transmission within the rat anterior crural compartment. *J Morphol* 2003 Jun;256(3):306-321.
117. Huijing PA. Epimuscular myofascial force transmission between antagonistic and synergistic muscles can explain movement limitation in spastic paresis. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 2007Dec;17(6):708-724.
118. Huijing PA, Baan GC, Rebel GT. Non-myotendinous force transmission in rat extensor digitorum longus muscle. *J Exp Biol* 1998Mar;201(Pt5):683-691.
119. Pavan PG, Stecco A, Stern R, Stecco C. Painful connections: densification versus fibrosis of fascia. *Curr Pain Headache Rep* 2014;18(8):441.
120. Stecco A, Stern R, Fantoni I, De Caro R, Stecco C. Fascial Disorders: Implications for Treatment. *PM R* 2016Feb;8(2):161-168.
121. Tran N, Chow K. Ultrasonography of the elbow. *Semin Musculoskelet Radiol* 2007 Jun;11(2):105-106.
122. Struijs PA, Sprunyt M, Asendelft WJ, van Dijk CN. The predictive value of diagnostic sonography for the effectiveness of conservative treatment of tennis elbow. *Am J Roentgenol* 2005 Nov;185(5):1113-1118.
123. Li H, Zhu W, Wu S, Wei Z, Yang S. Anatomical analysis of antebrachial cutaneous nerve distribution pattern and its clinical implications for sensory reconstruction. *PLoS One* 2019 Sep11;14(9): e0222335.
124. Brown JM, Yablon CM, Morag Y, Brandon CJ, Jacobson JA. US of the peripheral nerves of the upper extremity: A landmark approach. *Radiographics* 2016 Mar-Apr;36(2):452-463.
125. Wu CH, Chang KV, Ozcakar L, Hsiao MY, Hung CY, Shyu SG, et al. Sonographic tracking of the upper limb peripheral nerves: A pictorial essay and video demonstration. *Am J Phys. Med Rehabil* 2015 Sep;94(9):740-747.
126. Chang KV, Lin CP, Lin CS, Wu WT, Karmakar M, Özçakar L. Sonographic tracking of trunk nerves: essential for ultrasoundguided pain management and research. *J Pain Res* 2017Jan 4;10:79-88.
127. Yablon CM, Hammer MR, Morag Y, Brandon CJ, Fessell DP, Jacobson JA. US of the peripheral nerves of the lower extremity: a landmark approach. *Radiographics* 2016Mar-Apr;36(2):464-478.

128. Tagliafico A, Martinili C. Reliability of side-to-side ultrasound cross-sectional area measurements of upper extremity nerves in healthy volunteers. *J Ultrasound Med* 2013 Mar;32(3):457-462.
129. Beltran L, Bencardino J, Ghazikhanian V, Beltran J. Entrapment Neuropathies III. Lower Limb. *Semin Musculoskel Radiol* 2010;14:501-511
130. Koenig RW, Pedro MT, Heinen CPG, Schmidt T, Richter H-P, Antoniadis G, et al. High-resolution ultrasonography in evaluating peripheral nerve entrapment and trauma. *Neurosurg Focus* 2009Feb;26(2):E13.
131. Chen IJ, Chang KV, Wu WT, Özçakar L. Ultrasound Parameters Other Than the Direct Measurement of Ulnar Nerve Size for Diagnosing Cubital Tunnel Syndrome: A Systemic review and Met-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2019 Jun;100(6):1114-1130.
132. Kara M, Özçakar L, Muynck De M, Tok F, Vanderstraeten G. Musculoskeletal ultrasound for peripheral nerve lesions. *Eur J Phys Rehabil Med* 2012 Dec;48(4):665-674.
133. Luomala T, Pihlman M, Heiskanen J, Stecco C. Case study: could ultrasound and elastography visualized densified areas inside the deep fascia? *J Bodyw Mov Ther* 2014 Jul;18(3):462-468.
134. Gao L, Parker KJ, Lerner RM, Levison SF. Imaging of the elastic properties of tissue—a review. *Ultras Med Biol* 1996;22(8):959-977.
135. Bianchi S, Martinoli C. Chapter 1: technical requirements. In: *Ultrasound of the Musculoskeletal System*. Berlin Heidelberg, New York: Springer; 2007, pp. 3-12.
136. Whittaker J. Chapter 1: imaging principles and instrumentation. In: *Ultrasound imaging for rehabilitation of the lumbo-pelvic region—a clinical approach*, 1st ed. Elsevier 2007, pp.1-26.
137. MacAvoy MC, Rust SS, Green DP. Anatomy of the posterior antebrachial cutaneous nerve: Practical information for the surgeon operating on the lateral aspect of the elbow. *J Hand Surg Am* 2006 Jul-Aug;31(6):908-911.
138. Hannouche D, Ballis r, Raould A. A lateral approach to the distal humerus following identification of the cutaneous branches of the radial nerve. *J Bone Joint Surg* 2009 Apr;91(4):552-556.
139. Wright TW, Glowczewskie F Jr, Wheeler D, Miller G, Cowin D. Excursion and strain of the median nerve. *J Bone Joint Surg* 1996 Dec; 78(12):1897-1903.

140. Wright TW, Glowczewskie F Jr, Cowin D, Wheeler DL. Ulnar nerve excursion and strain at the elbow and wrist associated with upper extremity motion. *J Hand Surg* 2001 Jul;26(4):655-662.
141. Wright TW, Glowczewskie Jr F, Cowin D, Wheeler DL. Radial nerve excursion and strain at the elbow and wrist associated with upper-extremity motion. *J Hand Surg Am* 2005 Sep;30(5):990-996.
142. Beldner S, Zlotolow DA, Melone Jr CP, Agnes AM, Jones MH. Anatomy of the lateral antebrachial cutaneous and superficial radial nerves in the forearm: a cadaveric and clinical study. *J Hand Surg Am* 2005 Nov;30(6):1226-1230.
143. Wilhelm A, Suden R. Proximal radial nerve compression syndrome. Treatment and results. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 1985 Jul;17(4):219-224.
144. Burns J, Lister GD. Localized constrictive radial neuropathy in the absence of extrinsic compression: three cases. *J Hand Surg* 1984 Jan;9A(1):99-103.
145. Lussiez B, Courbier R, Toussaint B, Benichou M, Gomis R, Allieu Y. Radial paralysis of the arm after muscular effort. 4 case reports. Clinical and physiopathological study. *Ann Chir Main Memb Super* 1993;12(2):130-135.
146. Moore KL, Agur AM, Moore ME. Anatomía: con orientación clínica. Madrid: Medica Panamericana; 2007, pp. 818-826.
147. Manske PR. Compression of the radial nerve by the triceps muscle: a case report. *J Bone Joint Surg Am* 1977 Sep;59(6):835-836.
148. Nakamichi K, Tachibana S. Radial nerve entrapment by the lateral head of the triceps. *J Hand Surg Am* 1991 Jul;16(4):748-750.
149. Mitsunaga MM, Nakano K. High radial nerve palsy following strenuous muscular activity. A case report. *Clin Orthop Relat Res* 1988 Sep;(234):39-42.
150. Lotem M, Fried A, Levy M, Solzi P, Najenson T, Nathan H. Radial palsy following muscular effort. A nerve compression syndrome possibly related to a fibrous arch of the lateral head of the triceps. *J Bone Joint Surg Br* 1971 Aug;53(3):500-506.
151. Chen WA, Luo TD, Wigton MD, Li Z. Anatomical Factors Contributing to radial nerve excursion at the brachium: A cadaveric study. *J Hand Surg Am* 2018 Mar;43(3):288.e1-288.e7.
152. Eglseider WA. Distal humeral fractures: impact of lateral approach and fracture-specific planting on radial nerve palsies. *Tech Hand Up Extrem Surg* 2012 Sep;16(3):127-131.

153. Kapandji A. Fisiología articular. Miembro superior. Vol 1. 5a ed. Madrid: Medica Panamericana; 2001, pp. 114-122.
154. Roles NC, Maudsley RH. Radial tunnel syndrome: resistant tennis elbow as a nerve entrapment. *J Bone Joint Surg Br* 1972 Aug;54(3):499-508.
155. Ozturk A, Kutlu C, Taskara N, Kale A, Bayraktar B, Cecen A. Anatomic and morphometric study of the arcade of Frohse in cadavers. *Sur Radiol Anat* 2005 Aug;27(3):171-175.
156. Clark WL, Trumble TE, Swiontkowski MF, Tencer AF. Nerve tension and blood flow in a rat model of immediate and delayed repairs. *J Hand Surg* 1992 Jul;17(4):677-687.
157. Lundborg G, Rydevik B. Effects of stretching the tibial nerve of the rabbit. A preliminary study of the intraneural circulation and the barrier function of the perineurium. *J Bone Joint Surg Br* 1973 May;55(2):390-401.
158. Wall EJ, Massie JB, Kwan MK, Rydevik BL, Myers RR, Garfin SR. Experimental stretch neuropathy. Changes in nerve conduction under tension. *J Bone Joint Surg Br* 1992 Jan;74(1):126-129.
159. Pienimäki TT, Kauranen K, Vanharanta H. Bilaterally decreased motor performance of arms in patients with chronic tennis elbow. *Arch Phys Med Rehabil* 1997 Oct;78(10):1092-1095.
160. Perez A, Miguel M, Blasi M, Blasi J, Casals M, Martinoli C, et al. An anatomical and histological study of the structures surrounding the proximal attachment of the hamstring muscles. *Man Ther* 2015 Jun;20(3):445-450.
161. Pedrelli A, Stecco C, Day JA. Treating patellar tendinopathy with fascial manipulation. *J Bodyw Mov Ther* 2009;13(1):73-80.
162. Shmushkevich Y, Kalichman L. Myofascial pain in lateral epicondylalgia: a review. *J Bodyw Mov Ther* 2013 Oct;17(4):434-439.
163. Basson A, Olivier B, Ellis R, Coppieters M, Stewart A, Mudzi W. The effectiveness of neural mobilizations in the treatment of musculoskeletal conditions: a systematic review protocol. *JBIC Database System Rev Implement Rep* 2015 Jan;13(1):65-75.
164. Schmid AB, Nee RJ, Coppieters MW. Reappraising entrapment neuropathies—mechanisms, diagnosis and management. *Man Ther* 2013 Dec;18(6):449-457.

165. Vicenzino B, Collins D, Wright A. The initial effects of a cervical spine manipulative physiotherapy treatment on the pain and dysfunction of lateral epicondylalgia. *Pain* 1996 Nov;68(1):69-74.
166. Shacklock M. Neurodynamics. *Physiother*. 1995;81(1):9-16.
167. Drechsler WI, Knarr JF, Snyder-Mackler L. A comparison of two treatment regimens for lateral epicondylitis: a Randomized trial of clinical interventions 1997 Aug;6(3):226-234.
168. Drover JM, Forand Dr, Herzog W. Influence of active release technique on quadriceps inhibition and strength: a pilot study. *J Manipulative Physiol Ther* 2004;27:408-413.
169. Ercole B, Stecco A, Ann DJ, Stecco C. How much time is required to modify a fascial fibrosis? *J Bodyw Mov Ther* 2010 Oct;14(4):318-325.
170. Harper B, Steinbeck L, Aron A. Fascial manipulation vs. standard physical therapy practice for low back pain diagnoses: A pragmatic study. *J Bodyw Mov Ther* 2019 Jan;23(1):115-121.

ANEXO



Article

The Course of Posterior Antebrachial Cutaneous Nerve: Anatomical and Sonographic Study with a Clinical Implication

Jose García-Martínez ^{1,2,*}, Maribel Miguel-Pérez ^{2,*}, Albert Pérez-Bellmunt ^{3,4} , Sara Ortiz-Miguel ^{2,3,4} and Ginés Viscor ⁵ 

¹ I Iorta Osteopathic Clinic, 08031 Barcelona, Spain

² Unit of Human Anatomy and Embryology, Department of Pathology and Experimental Therapeutics, Faculty of Medicine and Health Sciences (Bellvitge Campus), University of Barcelona, 08907 Hospitalet del Llobregat, Spain; sortiz@uic.es

³ Basic Sciences Department, Universitat Internacional de Catalunya, 08017 Barcelona, Spain; aperez@uic.es

⁴ ACTIUM Functional Anatomy Group, 08017 Barcelona, Spain

⁵ Physiology Section: Department of Cell Biology, Physiology and Immunology, Faculty of Biology, University of Barcelona, 08028 Barcelona, Spain; gviscor@ub.edu

* Correspondence: jgarciamartinez78@hotmail.com (J.G.-M.); mimiguel@ub.edu (M.M.-P.)

Abstract: The course of the posterior antebrachial cutaneous nerve (PACN) was studied via ultrasound (US) and dissection. The aim of this study was to reveal the anatomical relationships of PACN with the surrounding structures along its pathway to identify possible critical points of compression. Nineteen cryopreserved cadaver body donor upper extremities were explored via US and further dissected. During US exploration, two reference points, in relation with the compression of the nerve, were marked using dye injection: (1) the point where the RN pierces the lateral intermuscular septum (LIMS) and (2) the point where the PACN pierces the deep fascia. Anatomical measurements referred to the lateral epicondyle (LE) were taken at these two points. Dissection confirmed the correct site of US-guided dye injection at 100% of points where the RN crossed the LIMS (10.5 cm from the LE) and was correctly injected at 74% of points where the PACN pierce the deep fascia (7.4 cm from the LE). There were variations in the course of the PACN, but it always divided from the RN as an only branch. Either ran close and parallel to the LIMS until the RN crossed the LIMS (84%) or clearly separated from the RN, 1 cm before it crossed the LIMS (16%). In 21% of cases, the PACN crossed the LIMS with the RN, while in the rest of the cases it always followed in the posterior compartment. A close relationship between PACN and LIMS, as well as triceps brachii muscle and deep fascia was observed. The US and anatomical study showed that the course of PACN maintains a close relationship with the LIMS and other connective tissues (such as the fascia and subcutaneous tissue) to be present in its pathology and treatment.

Keywords: posterior antebrachial cutaneous nerve; ultrasound and anatomical pathway and relations; possible compression



Citation: García-Martínez, J.; Miguel-Pérez, M.; Pérez-Bellmunt, A.; Ortiz-Miguel, S.; Viscor, G. The Course of Posterior Antebrachial Cutaneous Nerve: Anatomical and Sonographic Study with a Clinical Implication. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 7733. <https://doi.org/10.3390/ijerph18157733>

Academic Editor: Javier Abián-Vicén

Received: 25 May 2021

Accepted: 18 July 2021

Published: 21 July 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Lateral epicondylitis is a common painful condition, affecting between 4 and 7 per 1000 people annually [1]. It is characterized by pain on the lateral side of the elbow, which increases during gripping or squeezing. The lateral elbow pain is common in athletes and manual workers [2,3]. The identification of the cause of elbow pain is sometimes difficult. Possible causes range from extensor tendinopathy to neuropathy affecting the lateral antebrachial cutaneous nerve or the posterior antebrachial cutaneous nerve (PACN) [4,5]. Cutaneous nerve entrapment syndromes have been studied for a long time [6]. Although it can occur due to external causes, compression via musculotendinous, ligamentous or fascial structures are possible [6–9]. The cutaneous nerve entrapment plays an important role in neuropathic pain syndrome and the diagnostic testing can include electrodiagnostic studies [6,10], anesthetic injection, magnetic resonance imaging, and US [10].

Numerous sites of peripheral nerve compression have been described along its course. Most are associated with surrounding connective and fascial tissues of the upper arm, as can be the medial antebrachial cutaneous nerve, which develops pain due to repeated minor trauma (full extension of the elbow and repetitive forceful contracture of the flexor musculature) [11], the lateral antebrachial cutaneous nerve where crossing the antebrachial superficial fascia [12] and the superficial branch of the radial nerve (also named Wartenberg's syndrome). The causes of this nerve entrapment include compression from the brachioradialis and the extensor carpi radialis longus and an anomalous fascial ring [13]. These nerves may be the reason for the forearm pain, but little attention has been paid to the possible role of PACN compression. The PACN, also known as the posterior cutaneous nerve of the forearm, arises from the radial nerve (RN) in the posterolateral arm, proximal to the radial canal [14] and the lateral intermuscular septum (LIMS) [15]. Then, it courses posterolaterally to the LIMS and deep to the lateral head of the triceps brachii (LHTB) muscle. At the junction of the brachioradialis and the extensor carpi radialis longus muscle, the PACN pierces the deep fascia entering into the subcutaneous tissue and further divides into anterior and posterior branches, supplying the skin of the lateral epicondyle [15] and the posterior lateral part of the forearm [6,16]. This nerve and its branches can be observed via ultrasound (US) [6,17] when the transducer is placed in the short-axis view at the posterior mid-arm level. The RN is then seen underneath the LHTB muscle and, by moving the transducer more distally, the PACN is seen to divide from the RN [6]. It subsequently pierces the lateral intermuscular septum of the arm to run in the subcutaneous tissue close to the cephalic vein [17].

To date, anatomic and ultrasound studies regarding the topography of the PACN have mostly focused either on the surgical approach to avoid its injury or on ultrasound-guided nerve blockade [4,5,15,18–20] of the lateral humeral epicondyle [15]. However, studies involving the relations that this nerve could have with other anatomical structures (such as the superficial and deep fascia) are lacking. This fascia–nerve interplay could have a critical relation with some elbow pains, and some authors have described the target fascia as an important component of treatment in the field of manual treatment and rehabilitation [21]. The aim of this study was to examine the course of the PACN via ultrasound and anatomical dissection and to describe all its topographical relationships (specifically with the LIMS and fascial tissue), thus allowing for a better understanding of possible points of compression and aiding in a more accurate approach to interventional therapy.

2. Materials and Methods

This study included 19 cryopreserved shoulder-upper limbs (9 right and 10 left) from 15 cadavers (9 from women and 6 from men, ages 68–91 years old) without evident pathological findings (such as injury or previous surgery). Each specimen was accurately labeled with reference to the side, age and sex of the donor. All the procedures described in this report were approved by the Comité de Bioética of the Universitat de Barcelona (Institutional Review Board IRB0003099) and followed the relevant guidelines and local regulations. The Body Donation Service to Science and dissection room of the Faculty of Medicine and Health Sciences (Campus Bellvitge) provided the cryopreserved upper limbs of the University of Barcelona. They corresponded to donors who, at the time of the donation, did not explicitly oppose the use of their bodies for the study of the anatomy of the upper limbs and who had voluntarily donated their bodies for teaching and research purposes.

2.1. Ultrasonography Study

All examinations were performed by the same expert sonographer specialized, who has more than 10 years of experience in musculoskeletal US using a high-frequency linear transducer (5–12 MHz) connected to a US system (Logiq P5, General Electric). In order to prove the accuracy of the ultrasound imaging and to correlate it with the findings in the posterior anatomical dissections, a series of US-guided infiltrations were carried out.

These infiltrations were performed using a 1-mL syringe and a 25-G needle to inject 0.01 to 0.05 mL of green or red ink (colorant CLQ -540) adjacent to the nerves. The targeted points were located where the RN pierces the LIMS and where the PACN pierces the deep fascia to become superficial. The distances from the points of injection to the lateral epicondyle, as a landmark were superficially measured using a digital caliper (Figure 1 and Table 1).

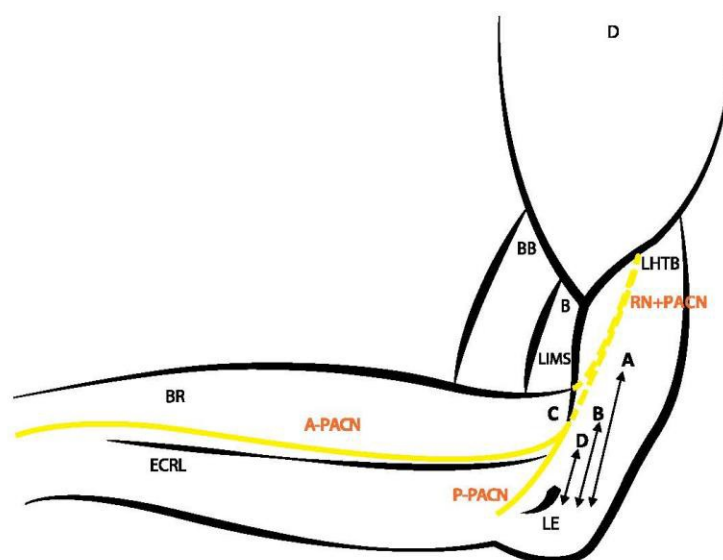


Figure 1. D (deltoideus muscle), BB (biceps brachii muscle), BR (brachioradialis muscle), B (brachialis muscle), LHTB (lateral head of the triceps brachii), ECRL (extensor carpi radialis longus muscle), LIMS (lateral intermuscular septum), RN (radial nerve), PACN (posterior antebrachial cutaneous nerve), A-PACN (anterior branch of the PACN), P-PACN (posterior branch of the PACN) and LE (lateral epicondyle). **Arrow A:** Distance from the LE to the point where the RN pierces the LIMS. **Arrow B:** Distance from the LE to the hiatus where the PACN pierces the deep fascia. **Point C:** PACN diameter in the point where the nerve pierces the deep fascia in the arm. **Arrow D:** Distance from the LE to the bifurcation of the PACN in the A-PACN and P-PACN.

Table 1. Ultrasonography (US)/Anatomic (A) diameter/distance of the different landmarks between the RN and PACN to LE.

	A (US)	A (A)	B (US)	B (A)	C	D	E	F
Mean (mm)	105	113	74	83	1.2	57	36	27
SD (mm)	8	11	13	13	2	12	8	6
Range (mm)	123–84	138–99	116–50	113–58	16–7	86–37	58–23	33–17

Values are presented as mean (SD, standard deviation); Abbreviations: LE, lateral epicondyle; RN, radial nerve; LIMS, lateral intermuscular septum; PACN, posterior antebrachial cutaneous nerve; A-PACN, anterior; P-PACN, posterior; Distances: A: From the LE to the point where the RN pierces the LIMS. B: From the LE to the hiatus where the PACN pierces the deep fascia. C: PACN diameter at the point where the nerve pierces the deep fascia in the arm. D: From the LE to bifurcation of PACN in A-PACN y P-PACN. E: The distance anteriorly/perpendicular where the A-PACN passes the LE. F: The distance anteriorly/perpendicular where the P-PACN passes the LE.

The mean value of three consecutive measurements was calculated for each site.

The following US technique was used to locate the regions of interest; first a posterior approach to the arm with the elbow in pronation and 90° flexion was taken. The probe was

oriented in the short-axis view. Then, the RN was located in the radial canal, followed by proximal-to-distal scanning to look for the PACN with the probe. Finally, the division of the PACN from the RN was observed.

2.2. Anatomical Study

Following the US study, we dissected 19 upper limbs in the same position as US. Dissection proceeded in a proximal distal direction, from the shoulder to the forearm (ending at the wrist). A longitudinal superficial incision was performed through the midline of the upper limb along the lateral side of the arm (centered over the LIMS) and extended distally and posteriorly toward the elbow and forearm, respectively, followed by a horizontal cut in the elbow area to allow for complete dissection. The skin and subcutaneous adipose tissue of the superficial fascia were removed in layers, exposing the brachial/antebrachial deep fascia. Between the superficial fascia and deep fascia, the PACN was identified and exposed in its entirety (including its distal branches), and the surrounding connective and fascial tissues surrounding were studied. The dissection localized the previous injected dye relative to the anatomically identified target point of RN and PACN.

After isolation, measurements of RN and PACN were taken at four different points defined by anatomic landmarks or clinically important points as shown in Figure 1. All of the distances were taken from the lateral epicondyle as landmark: Arrow A; to the point where the RN pierces the LIMS. Arrow B; to the point where the PACN pierces the deep fascia to become superficial. Arrow D; the bifurcation of the PACN in the anterior (A-PACN) and posterior (P-PACN) branches. Finally, the anterior/perpendicular distance from the A-PACN and P-PACN to the lateral epicondyle. The diameter ($\varnothing$) of PACN when piercing the deep fascia in the arm were measured (Point C) (Table 1). The measurements were measured using a digital caliper. The mean values of three consecutive measurements were calculated for each parameter. All values are expressed as mean $\pm$ and standard deviation. Student's *t*-test was used to detect any significant differences in the measurement data between different genders and sides. We analyzed the agreement between US and anatomical measurements by applying the Bland–Altman graphical method (difference plots).

3. Results

The ultrasound study showed the ability to correctly identify the PACN, as further confirmed by dissections. However, the PACN presented a certain degree of individual variability in its anatomical course.

3.1. Ultrasonography Study

The ultrasound image of the RN as an ovoid shape with a typical fascicular echo texture was identified in the radial canal. It was easily identified in the short-axis view, when it crossed this canal in contact with the humerus bone (Figure 2).



Figure 2. Ultrasound of the aponeurotic part of lateral head triceps brachii (LHTB) (white arrow) that forms a fibrotic tunnel for the radial nerve (RN) (*) and posterior antebrachial cutaneous nerve before the RN crosses the lateral intermuscular septum, followed by the superficial fascia or subcutaneous fatty layer (SF).

It was recognized correctly in all cases as confirmed by dissection. This was the best landmark to use to find the PACN, which was identified as a division from the RN. Following division, the RN pierced the LIMS 10.5 cm (Range = 3.9 cm, maxim value 12.3 cm and minim value 8.4 cm) from the LE and passed on into the anterior compartment of the arm. The PACN, once divided from the RN, crossed the deep fascia 7.4 cm (Range = 6.6 cm, maxim value 11.6 cm and minim value 5 cm) from the I.E. US images showed that the nerve was inside a tunnel formed by connective and adipose tissues (Figure 3).

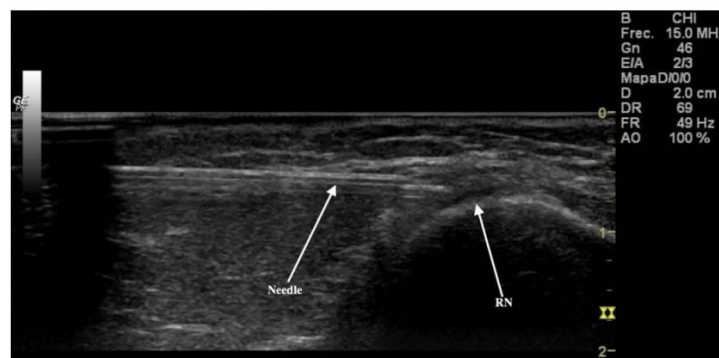


Figure 3. Ultrasound image of the radial nerve (RN) (white arrow) that is in contact with the humerus bone. Needle injected dye in the nerve point before crossing the lateral intermuscular septum.

This tunnel was a clear sonographic landmark for locating the nerve and following it until it reached the posterior side of the forearm.

3.2. Anatomical Study

Dissection showed the RN in the radial canal, before and after it crossed the LIMS. Ultrasound injected dye confirmed this in 100% of cases.

We initially identified the PACN superficially in the subcutaneous tissue and after examined its deep course. Figures 5 and 6 shows the schematized lines of the different pathways of the PACN, always divided as a branch from the RN, but then it either ran close and parallel to the RN until the RN crossed the LIMS (16 cases, 84%; Lines A to C) or, alternatively, it ran clearly separated from the RN, 1 cm before it crossed the LIMS (3 cases, 16%, Line D) (Figures 4A and 5).

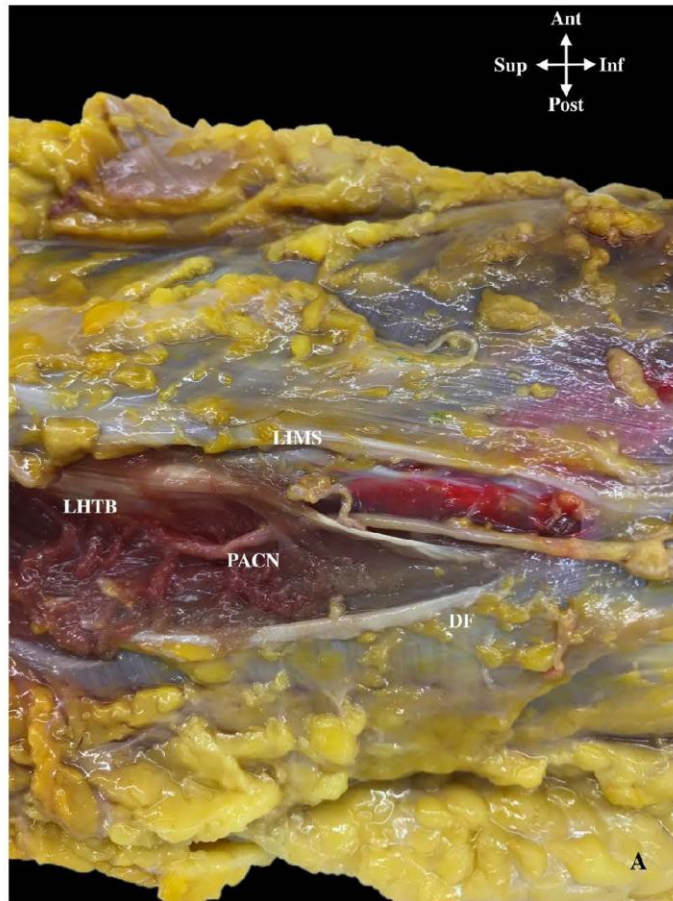


Figure 4. Cont.

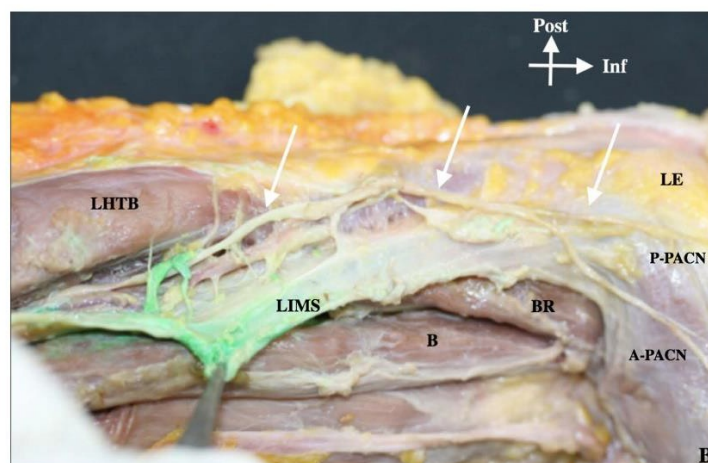


Figure 4. (A) Posterior antebrachial cutaneous nerve (PACN) separated from the radial nerve (16%) that in the picture is deep to the LHTB longitudinal aponeurosis, just before it crosses the LIMS (16%). PACN ran alone inside the muscular fibers of the triceps brachii muscle in a canal formed by the perimysium and aponeurotic bands of this muscle. Lateral intermuscular septum (LIMS), lateral head triceps brachii muscle (LHTB), deep fascia (DF). (B) Common and classical course of the PACN (white arrows) that ran along the posterior side of the lateral intermuscular septum (LIMS) until it pierced the deep fascia in this posterior compartment (63%) and divided into two branches, an anterior PACN (A-PACN) and a posterior PACN (P-PACN). Brachialis muscle (B), brachioradialis muscle (BR), lateral epicondyle (LE).

In the first variation (16 cases), the PACN followed the posterior compartment in twelve cases (63%; Line C) (Figures 4B and 5), but in the remaining four cases (21%), the PACN crossed the LIMS with the RN. In two of these latter cases, PACN returned to the posterior compartment (Line B), following its more frequent course, but in the other two of these cases, it followed the RN into the anterior compartment until it crossed the deep fascia on the anterior side of the forearm and finished as a single branch in the forearm (Line A) (Figure 5) or anastomosed with the posterior brachial cutaneous nerve (Figure 6).

An accurate description of the posterior compartment of the arm revealed that in the most frequent cases, when the RN and the PACN ran parallel to each other, both nerves were always located lateral to the LHTB muscle until the RN crossed the LIMS 11.3 cm (± 1.1) from the lateral epicondyle. In this arrangement, longitudinal aponeurotic bands from the LHTB to the LIMS formed a longitudinal tunnel shared by both nerves (Figure 7).

An important observation was that on the superficial side of this tunnel, the origin of the muscle fibers of the LHTB muscle formed the roof of the tunnel. Once the PACN had separated from the RN in 12 cases (63%), it ran along the posterior side of the LIMS for 3 cm until it crossed the deep fascia 8.3 cm from the lateral epicondyle (Figure 4B). At this point, it was identified in the adipose tissue of the superficial fascia and had a diameter of 1.2 mm (Table 1).

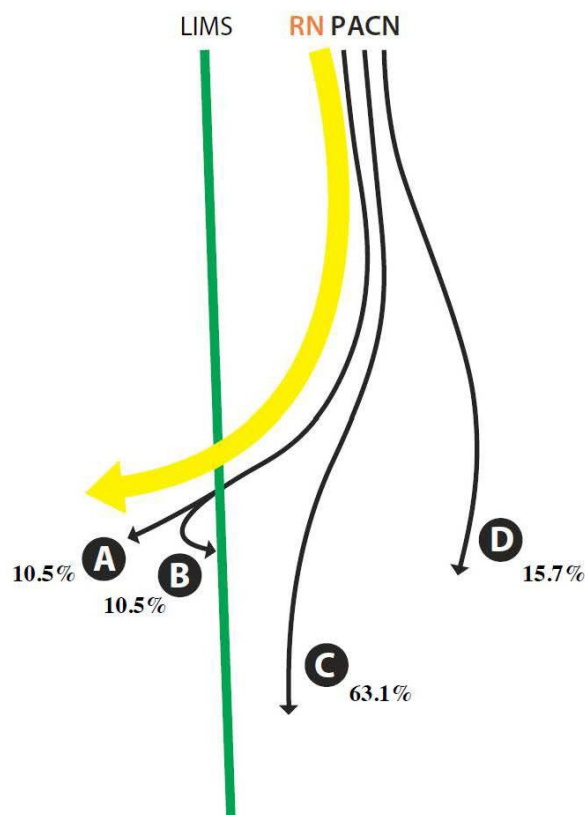


Figure 5. Drawing of the different pathways of the posterior antebrachial cutaneous nerve (PACN) in the arm where its divided from radial nerve (RN): Line A: PACN piercing the lateral intermuscular septum (LIMS) with the radial nerve (RN) and it follows in the anterior compartment until reaches the skin (10.5%). Line B: PACN pierces the LIMS with the RN and come back to the posterior compartment until reaches the skin (10.5%). Line C: More frequently pathway of the PACN in the compartment posterior (63.1%). Line D: clearly separated from the RN, 1 cm before it crossed the LIMS (15.7%).

Lax connective tissue from this superficial fascia formed a structure similar to a canal until it reached the proximal part of the elbow. This anatomical view was compatible with the ultrasound image described earlier (Figure 3). Dissection of the PACN was easiest from the elbow until the PACN terminated, because it had a close relation with the antebrachial fascia.

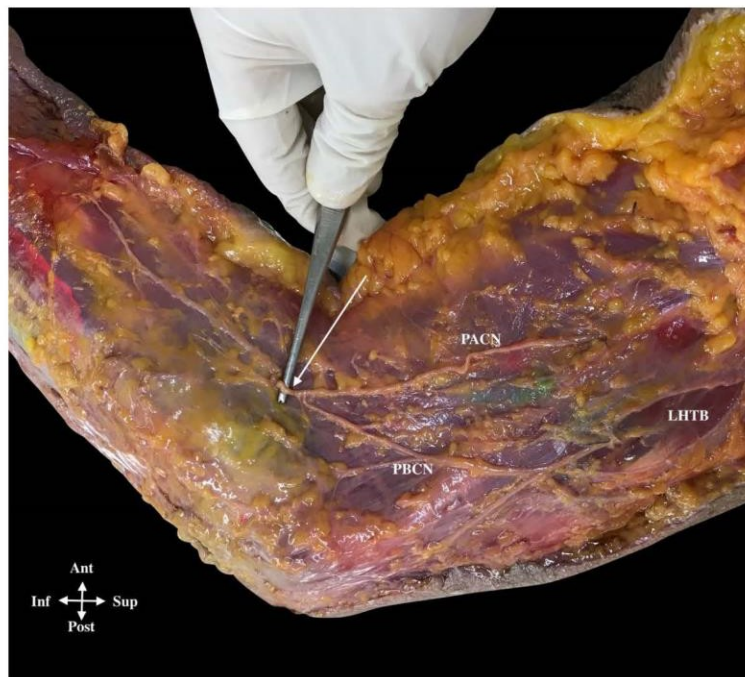


Figure 6. Anastomosis between the posterior antebrachial cutaneous nerve (PACN) (piercing the LIMS with the RN and then following in the anterior compartment) and the posterior brachial cutaneous nerve (PBCN). They form the only branch in the posterolateral side of the forearm (white arrow). Lateral head triceps brachii muscle (LHTB).

In the three cases in which PACN clearly separated from the RN (16%) both nerves ran inside the muscular compartment of the triceps brachii muscle, in a canal formed by its perimysium until it crossed the muscle (Figure 4A).

Dye indicating the point of exit of the PACN from the deep fascia into the superficial fascia was correctly injected in 74% of cases and 7.4 cm from the lateral epicondyle. However, in 10% of cases, dye was found in target points along the course of the PACN, and in the remaining 16% of the specimens, it was injected into the posterior brachial cutaneous nerve. The latter run anteriorly with the RN (Figure 5).

During the PACN's descent, and from 5.7 cm superior to the lateral epicondyle, it usually divided into two branches, forming the anterior PACN (A-PACN) and the posterior PACN (P-PACN), but in one of the specimens the PACN divided into three branches. In all cases (100%), after division and before the nerve reached the elbow, the PACN branches became anterior, passing anterior to the lateral epicondyle (Figure 8).

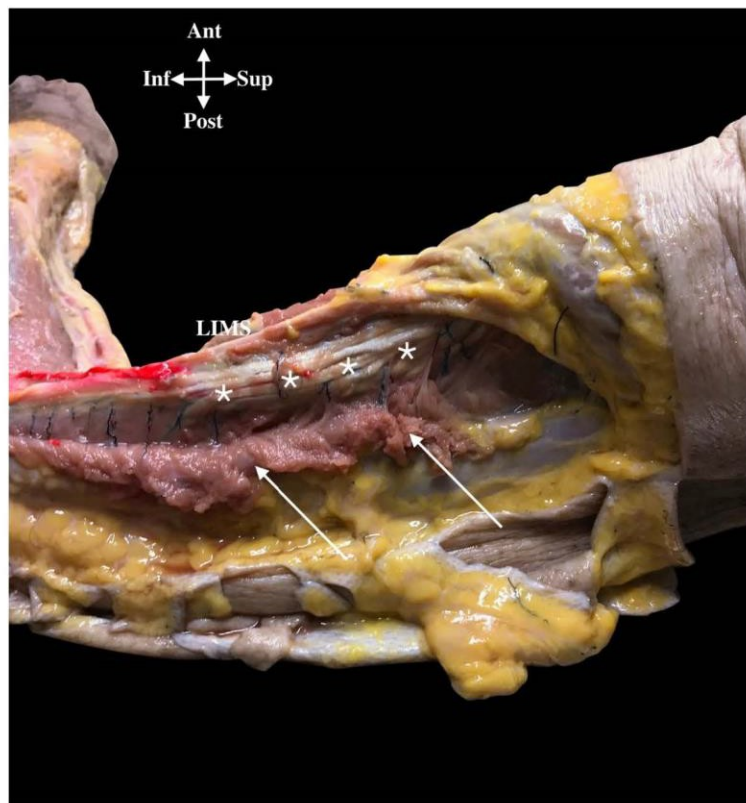


Figure 7. The picture shows the longitudinal aponeurotic fibers (*) from the lateral head triceps brachii muscle (LHTB) after dissecting the muscular fibers of the LHTB (white arrows). The posterior antebrachial cutaneous nerve pierces the deep fascia in the posterior compartment (red dye). Lateral intermuscular septum (LIMS).

The A-PACN descended as a single branch in 95% of cases ($n = 18$). Of those, 89% ($n = 16$) finished on the posterior side of the wrist and 11% ($n = 2$) only reached the distal third of the forearm. This branch had a perpendicular distance of 3.6 cm from the lateral epicondyle. In the other 5% ($n = 1$), the A-PACN divided into two branches: one finished halfway along the forearm's posterior side and the other reached the wrist.

The P-PACN as a single branch (87%) could anastomose with the posterior brachial cutaneous nerve and then, in few cases (16%), descend until the middle third of the forearm, or finish in the skin of the lateral epicondyle (42%) or finish in the inferior part of the lateral epicondyle (42%). When P-PACN divided into two branches (13%), one finished in the lateral epicondyle and the other reached the posterior side of the forearm (Figure 8).

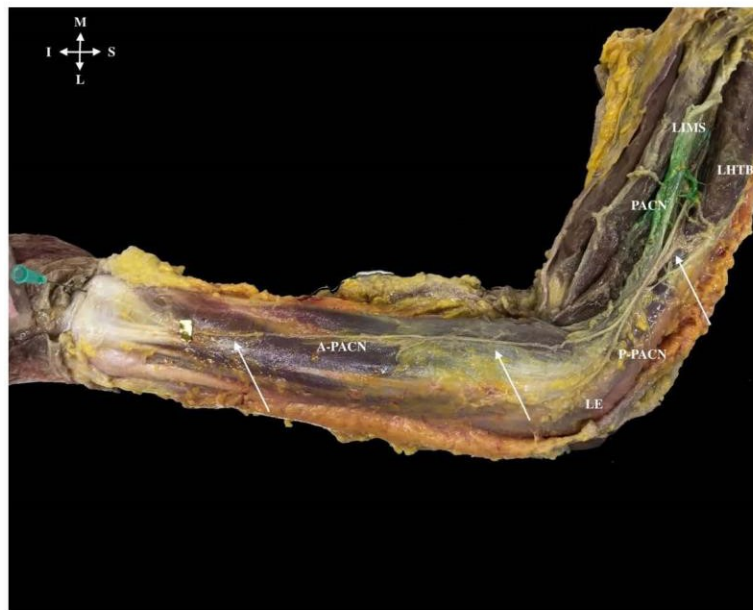


Figure 8. Pathway of the posterior antebrachial cutaneous nerve (PACN) (superior white arrow) after crossing the deep fascia of the arm (green dye). Posterior division into two branches anterior (A-PACN) (inferior white arrows) and posterior (P-PACN) was always anterior to the lateral epicondyle (LE). The needle landmarks the wrist. Lateral intermuscular septum (LIMS), lateral head triceps muscle (LHTB).

Dissection of the LIMS showed that it was a dense connective tissue that was anchored to the lateral border of the humerus and separated the anterior and posterior compartment of the arm; macroscopic observation of the connective tissue showed an arrangement in different directions and a close relation with the origin of the arm muscles. However, there was a large amount of variability regarding the origin of the posterior (LHTB) and anterior muscles of the arm (brachialis, brachioradialis, extensor carpi radialis longus). This variability could be divided into two types: Type 1: insertions of muscles of less than 3 cm long (33%); or Type 2: insertions of muscles over 3 cm long (67%). The LIMS had a close relation with the RN and PACN via the tunnel described earlier between the LIMS and the triceps brachii muscle.

4. Discussion

This study shows that the PACN can be correctly identified via an ultrasound exploration, as confirmed by posterior dissection. In addition, the measurements obtained by US are in good agreement with further anatomical dissection measurements as can be seen in the Bland–Altman graphical analysis (Figure 9).

Some previous studies accurately described the course of the PACN using US [6,17] and dissection [17,22], but few details are known about its relation with other anatomical structures such as the LIMS, and the superficial and deep fascia or muscles. Both of these aforementioned studies focused on the PACN in the context of forearm-based neuropathic pain syndromes [17] or in US-guided diagnostic and interventional procedures targeting the nerve in selected patients [22]. The current study revealed the PACN's close relation with the LIMS and the deep and superficial fascia. We investigated this relation because

they could be relevant in pathogenesis via compression of the PACN during its course and it could be relevant for its treatment with manual therapies or nerve release. In this context, some authors have already reported the use of the mobilization-with-movement treatment technique as a combination of manual therapy (manual sustained lateral glide of the elbow) and therapeutic exercise (repeated gripping action) for the treatment of some cases of lateral epicondylitis in order to avoid surgery [23].

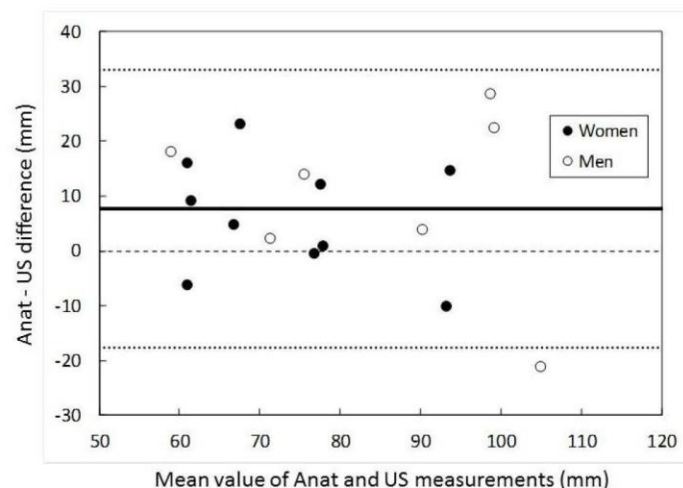


Figure 9. Bland–Altman graphs for the distances from lateral epicondyle to the hiatus point where the posterior antebrachial cutaneous nerve (PACN) pierces the deep fascia. The Y-axis represents the difference in the measurements taken by anatomical dissection and US imaging. The X-axis represents the mean value of the measurements obtained by the two methods. The horizontal solid line represents the bias, whereas the dotted lines are the upper and lower limits of agreement (LOA), calculated as 1.96 SD (standard deviation). A dashed line indicates zero difference (equality).

Sonoanatomically, our finding that the RN passed through the LIMS 10.5 cm from the lateral epicondyle was similar to other reports of a 10 cm distance [22]. Likewise, the PACN always originated from the RN on the posterior side of the arm and before the RN crossed the LIMS [22,24,25]. The frequency of the posterior course of the PACN (78%) was similar to that reported by Hannouche D et al., (83%) [5]. As described herein, and consistent with other authors, the PACN ran parallel to the RN and maintained a close relation with the LIMS [22,25]. We also describe herein a novel tunnel formed by aponeurosis fibers from the triceps brachii muscle to the LIMS. The results suggest that the fibrous connective tissue that forms this tunnel could be involved in the possible compression of the nerves. When the PACN did not run parallel to the RN (16%) (Line D/Figure 5) it followed a divergent course from the RN, crossing the muscular compartment of the triceps brachii muscle inside the perimysium. In this case, the PACN could be subject to compression by the triceps brachii muscle, thus causing neuropathic pain in the arm and forearm.

In these two possible compression scenarios, the application of manual techniques would be aimed at releasing possible muscular–fascial tensions and, therefore, would be useful for the treatment of compression. Knowing the relation of the PACN with the LIMS–LHTB would allow us to understand the risk of entrapment and irritation of the PACN and that is the reason why these techniques must be carried out as a matter of priority in this septum. Manual treatment would then be aimed mainly at reducing the muscular tensions in the LIMS and the related muscles (LHTB, brachial and brachioradialis).

However, the focus should be directed to the LHTB, since our results showed that it had the highest amount of muscle insertion in the septum, thus having the greatest influence on the tensions exerted on it. The objective would be to balance the forces that reach the LIMS (anterior and posterior) by improving its tension and avoiding its densification and, therefore, the loss of viscoelasticity [26] that usually leads to problems arising along the course of vascular–nervous structures [27]. It has been shown that the aponeurotic orifice of the nerve is usually indurated when there is a fixation [28], the fixation in this study being the insertion of the above mentioned muscles. Other studies have confirmed the effectiveness of myofascial treatment in epicondylalgia [29].

The PACN is considered to be mainly a sensory nerve, but also drives a considerable amount of efferent sympathetic signals [30]. This supports the hypothesis that these subcutaneous nerves may play a role in the pathogenesis of complex regional pain syndrome, and there have been reports about induction of complex regional pain after injury to these nerve [30].

The point of exit of the PACN from the posterior compartment of the arm through the deep fascia was 7.4 cm from the lateral epicondyle as measured ultrasonographically and 8.3 cm anatomically. Some studies have reported similar distances of between 7.24 cm [18] and 7 cm [22] but others have reported shorter distances such as 6.6 cm [10] and even 5 cm [20]. Possible explanations for these differences could be the landmarks used for the measurements, individual variations and the difficulty in differentiating between the superficial and deep fascia. The transition zone of the nerve, from the deep fascia to the superficial fascia (forming a fascial ring), is an area that could be affected by fascial tension changes or by an imbalance in muscular tension caused by lateral epicondylitis of long evolution or repetitive mechanical work of the upper limb. Such circumstances cause an increase in the size and density of the connective tissue of both the deep and superficial fascia [31], which may hinder the sliding of the PACN with consequent irritation. In cases of fixation, the nerve elongates with difficulty during arm movement, causing sensitivity or pain [27,28,30]. Our description is similar to the proposal of Maida et al. [22], who described these nerves as monofascicular hyperechoic dots within the subcutaneous tissues.

The difference between the measurements obtained using the ultrasound and anatomy methods (bias) can be explained by small morphological modifications arising during the dissection of the upper limb. As a result of the mechanical actions taken to separate the tissues, the distances between the reference points could increase, or these differences could be due to limitations in the accuracy of US as well.

After the nerve reached the superficial fascia, the PACN followed an anterior pathway to the lateral epicondyle without exception. However, this finding contrasted with those other authors who described localization posterior to the lateral epicondyle [22,25].

The relation with other structures (such as the cephalic vein) was parallel and volar except in the proximal part of the forearm, which is inconsistent with other reports [17,18]. We found that the PACN was deeper to the vein in the superficial fascia in all cases until reached the distal side of the forearm (Figure 9). This is important for surgery in this area.

A previous study posited that the PACN divides into two branches after it crosses the deep fascia 7 cm from to LE [22]. We observe the two branches anterior to the LE at the same level, whereas the abovementioned study reported that the posterior division travelled further before crossing the deep fascia and also had a major bifurcation with a posterior branch extending to the anconeus muscle [22]. However, another study found few posterior divisions of the PACN [25].

This study has some limitations, such as those due to the intrinsic technical constraints of US exploration. This investigation was a description of possible fascial structures that can give a compression of the PACN. Futures clinic and ultrasound researches could describe the implication of the fascial structures in the nerve compression and help in its diagnosis and treatment.

5. Conclusions

A detailed knowledge of the PACN pathway and its anatomic relationships with the surrounding structures could help to determine the cause of pain in this area. This study has showed fascial and musculoskeletal structures that could play an important role on this kind of compression.

Author Contributions: Conceptualization, M.M.-P. and J.G.-M.; methodology, M.M.-P., A.P.-B. and S.O.-M.; validation, J.G.-M., A.P.-B. and S.O.-M.; formal analysis, G.V.; resources, M.M.-P. and G.V.; data curation, J.G.-M.; writing—original draft preparation, M.M.-P., J.G.-M. and G.V.; writing—review and editing, A.P.-B. and S.O.-M.; supervision, M.M.-P. and G.V.; All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was approved by the Comissió de Bioètica de la Universitat de Barcelona (1R800003099).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study implicitly at the time they donated their bodies.

Data Availability Statement: The data that support the findings of this study are available from the corresponding author, M.M.P., upon reasonable request.

Acknowledgments: We express our sincere gratitude to the body donors; thanks to their generosity, scientific knowledge continues to improve.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Smidt, N.; Lewis, M.; Windt, D.A.V.D.; Hay, E.M.; Bouter, L.M.; Croft, P. Lateral epicondylitis in general practice: Course and prognostic indicators of outcome. *J. Rheumatol.* **2006**, *33*, 2053–2059. [\[PubMed\]](#)
- Rettig, A.C.; Patel, D.V. Epidemiology of elbow, forearm, and wrist injuries in the athlete. *Clin. Sports Med.* **1995**, *14*, 289–297. [\[CrossRef\]](#)
- Walker-Bone, K.; Palmer, K.T.; Reading, I.; Cooper, C. Soft-tissue rheumatic disorders of the neck and upper limb: Prevalence and risk factors. *Semin. Arthritis Rheum.* **2003**, *33*, 185203. [\[CrossRef\]](#)
- Doyle, J.J.; David, W.S. Posterior antebrachial cutaneous neuropathy associated with lateral elbow pain. *Muscle Nerve* **1993**, *16*, 1417–1418. [\[PubMed\]](#)
- Kotnis, N.A.; Chiavaras, M.M.; Harish, S. Lateral epicondylitis and beyond: Imaging of lateral elbow pain with clinical-radiologic correlation. *Skelet. Radiol.* **2012**, *41*, 369–386. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Chang, K.V.; Mezian, K.; Naňka, O.; Wu, W.T.; Lou, Y.M.; Wang, J.C.; Martinoli, C.; Özçakar, L. Ultrasound Imaging for the Cutaneous Nerves of the Extremities and Relevant Entrapment Syndromes: From Anatomy to Clinical Implications. *J. Clin. Med.* **2018**, *21*, 457. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Wee, T.C.; Wu, C.H.; Chen, W.S.; Wang, T.G. Sonographic Evaluation of the Posterior Interosseous Nerve in a Patient with Wrist Drop. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* **2018**, *97*, e68. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Martinoli, C.; Bianchi, S.; Pugliese, F.; Bacigalupo, L.; Gauglio, C.; Valle, M.; Derchi, L.E. Sonography of entrapment neuropathies in the upper limb (wrist excluded). *J. Clin. Ultrasound* **2004**, *32*, 438–450. [\[CrossRef\]](#)
- Wu, C.H.; Boudier-Revéret, M. Ultrasound-guided steroid injections for lateral antebrachial cutaneous nerve entrapment within postsurgical scar. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* **2019**, *98*, e106. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Schmid, A.B.; Nee, R.J.; Coppieters, M.W. Reappraising entrapment neuropathies—mechanisms, diagnosis and management. *Man. Ther.* **2013**, *18*, 449–457. [\[CrossRef\]](#)
- Yildiz, N.; Ardic, F. A rare cause of forearm pain: Anterior branch of the medial antebrachial cutaneous nerve injury: A case report. *J. Brachial Plex. Peripher. Nerve Inj.* **2008**, *3*, 10. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Belzile, E.; Cloutier, D. Entrapment of the lateral antebrachial cutaneous nerve exiting through the forearm fascia. *J. Hand Surg. Am.* **2001**, *26*, 64–67. [\[CrossRef\]](#)
- Patl, A.; Pierce, P.; Chiu, D. A facial band implicated in Wartenberg syndrome. *Plast Reconstr. Surg.* **2014**, *133*, 440–442. [\[CrossRef\]](#)
- Testut, L.; Latarjet, A. *Tratado de Anatomía Humana*; Salvat: Barcelona, Spain, 1984; p. 678.
- Dellon, A.L.; Kim, J.; Ducic, I. Painful neuroma of the posterior cutaneous nerve of the forearm after surgery for lateral humeral epicondylitis. *J. Hand Surg. Am.* **2004**, *29*, 387–390. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Rose, N.E.; Forman, S.K.; Dellon, A.L. Denervation of the lateral humeral epicondyle for treatment of chronic lateral epicondylitis. *J. Hand Surg. Am.* **2013**, *38*, 344–349. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

17. Moritz, T.; Prosch, H.; Pivec, C.H.; Sachs, A.; Pretterklieber, M.L.; Kriechbaumer, L.; Happak, W.; Bodner, G. High-resolution ultrasound visualization of the subcutaneous nerves of the forearm: A feasibility study in anatomic specimens. *Muscle Nerve* **2014**, *49*, 676–679. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
18. Chodewaratham, P.; Chentanez, V.; Agthong, S.; Huanmanop, T. Anatomy of Posterior Antebrachial Cutaneous Nerve Related to the Lateral Epicondyle and Interepicondylar Line. *Int. J. Morphol.* **2016**, *34*, 953–957. [\[CrossRef\]](#)
19. Finneran, J.J.; Sandhu, N. Ultrasound-guided posterior antebrachial cutaneous nerve block: Technical description and block distribution in healthy volunteers. *J. Ultrasound Med.* **2019**, *38*, 239–242. [\[CrossRef\]](#)
20. Hannouche, D.; Ballis, R.; Raoult, A. A lateral approach to the distal humerus following identification of the cutaneous branches of the radial nerve. *J. Bone Jt. Surg. Br.* **2009**, *91*, 552–556. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
21. Stecco, A.; Stern, R.; Fantoni, I.; De Caro, R.; Stecco, C. Fascial Disorders: Implications for Treatment. *PM R* **2016**, *8*, 161–168. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
22. Maida, E.; Chiavaras, M.M.; Jelsing, E.J.; O'Driscoll, S.W.; Pawlina, W.; Smith, J. Sonographic Visualization of the Posterior Cutaneous Nerve of the Forearm: Technique and Validation Using Perineural Injections in a Cadaveric Model. *J. Ultrasound Med.* **2017**, *36*, 2395–2399. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
23. Vicenzino, B.; Paungmali, A.; Buratowski, S. Specific manipulative therapy treatment for chronic lateral epicondylalgia produces uniquely characteristic hypoalgesia. *Man. Ther.* **2001**, *6*, 205–212. [\[CrossRef\]](#)
24. Tubbs, R.S. Anatomy of the lateral intermuscular septum of the arm and its relationships to the radial nerve and its proximal branches: Laboratory investigation. *J. Neurosurg.* **2009**, *111*, 336–339. [\[CrossRef\]](#)
25. MacAvoy, M.C.; Rust, S.S.; Green, D.P. Anatomy of the Posterior Antebrachial Cutaneous Nerve: Practical Information for the Surgeon Operating on the Lateral Aspect of the Elbow. *J. Hand Surg. Am.* **2006**, *31*, 908–911. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
26. Luomala, T.; Pihlman, M.; Heiskanen, J.; Stecco, C. Case study: Could ultrasound and elastography visualized densified areas inside the deep fascia? *J. Bodyw. Mov. Ther.* **2014**, *18*, 462–468. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
27. Wright, T.W.; Glowczewskie Jr, F.; Cowin, D.; Wheeler, D.L. Radial nerve excursion and strain at the elbow and wrist associated with upper-extremity motion. *J. Hand Surg. Am.* **2005**, *30*, 990–996. [\[CrossRef\]](#)
28. Beldner, S.; Zlotolow, D.A.; Melone, C.P. Anatomy of the lateral antebrachial cutaneous and superficial radial nerves in the forearm: A cadaveric and clinical study. *J. Hand Surg. Am.* **2005**, *30*, 1226–1230. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
29. Shmushkevich, Y.; Kalichman, L. Myofascial pain in lateral epicondylalgia: A review. *J. Bodyw. Mov. Ther.* **2013**, *17*, 434–439. [\[CrossRef\]](#)
30. Chakravarthy Marx, S.; Kumar, P.; Dhalapathy, S. Distribution of sympathetic fiber areas in the sensory nerves of forearm: An immunohistochemical study in cadavers. *Rom. J. Morphol. Embryol.* **2011**, *52*, 605–611.
31. Pavan, P.G.; Stecco, A.; Stern, R.; Stecco, C. Painful connections: Densification versus fibrosis of fascia. *Curr. Pain Headache Rep.* **2014**, *18*, 441. [\[CrossRef\]](#)