

UNIVERSIDAD ABIERTA INTERAMERICANA

LICENCIATURA EN KINESIOLOGÍA Y FISIATRÍA

FACULTAD DE MEDICINA Y CIENCIAS DE LA SALUD

Título:

REVISIÓN: INERVACIÓN DEL TEJIDO FASCIAL

Autor: Federico Cuestas

Tutor: Daniel Horacio Clavel

Buenos Aires, Argentina

2020

Esta obra está dedicada a mis padres, ya que sin su incondicional apoyo, sustento y aliento, mi carrera universitaria y su presente culminación no hubieran sido posibles.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera dar las gracias a todos los docentes que me enseñaron a tener un pensamiento crítico y que me transmitieron no sólo conocimientos, sino también su amor por esta profesión. Agradecer particularmente a mi tutor, el Lic. Daniel Clavel, por su ayuda y gran trabajo.

Quisiera nombrar también a mis compañeros de cursada, con los cuales navegué el camino universitario y me enseñaron a siempre tener la mente abierta a otras perspectivas.

Por último, quiero dar las gracias especialmente a mi familia, mis padres y mi hermano, por su incesante apoyo y positivismo.

INDICE

- Introducción ……6
- Palabras clave ……..7
- Objetivos ……8
- Justificación ……9
- Marco conceptual ……..10
- Diseño metodológico ……17
- Resultados ……19
- Discusión ……...27
- Conclusión ……28
- Referencias bibliográficas ……30

RESUMEN

El objetivo de la presente revisión fue el de proporcionar una descripción actualizada de la inervación del tejido fascial. Esto surge a partir del creciente interés de investigadores por la fascia, su estructura y función, lo que llevó a la producción de más estudios sobre su inervación y sobre más regiones del tejido, ampliando el conocimiento sobre el tema. Para lograr el objetivo se llevó a cabo un análisis de las últimas investigaciones producidas, para luego cotejar esta información con el conocimiento generado en el siglo pasado y de esta manera proporcionar una mirada integradora sobre la inervación fascial. Se realizó una búsqueda en la base de datos PubMed utilizando las palabras en inglés "fascia innervation", y de los artículos arrojados se utilizaron 19 para conformar la muestra. También se consultaron libros de texto sobre el sistema fascial y sobre fisiología. Los resultados indicaron que el tejido fascial se encuentra ricamente inervado, principalmente por terminaciones nerviosas libres, que conducen sus señales a través de fibras tipo III y IV. También está inervado por terminaciones corpusculares y en ramillete, como corpúsculos de Pacini y Golgi-Mazzoni y terminaciones de Ruffini. Esto indicó que la fascia tiene un papel tanto nociceptivo como propioceptivo. La nocicepción está proporcionada por las terminaciones nerviosas libres, y la propiocepción por las terminaciones corpusculares y en ramillete, aunque también por terminaciones libres de bajo umbral mecánico, que fueron encontradas en regiones que carecían de los propioceptores típicos. No en todas las regiones del tejido fascial se encontró la misma inervación, la densidad de fibras nerviosas y el tipo de receptores cambia de una zona a otra. Se encontró también que la fascia está inervada en gran medida por el sistema nervioso autónomo, lo que sugiere que el tono fascial puede estar influenciado por los tonos simpático y parasimpático.

INTRODUCCIÓN

El sistema fascial ha cobrado un gran interés científico en los últimos años debido a su gran implicancia en el funcionamiento del sistema musculoesquelético, a su relevancia en la salud en general y a que aún queda mucho por conocer del mismo. Esto ha llevado a que una parte de la comunidad de investigadores tome la fascia como punto de interés para sus experimentos.

A medida que el conocimiento sobre este tejido aumenta, aumenta la comprensión sobre su funcionamiento y sobre su rol en el comportamiento de las estructuras corporales. Esta comprensión comienza a partir de establecer la histología del tejido fascial, ya que describiendo las estructuras que lo conforman se puede entender qué funciones cumple. Teniendo esto en cuenta, muchos investigadores se han abocado a establecer cuál es la inervación de la fascia, para de esta manera definir cuáles son los estímulos a los que responde, y cuáles son las respuestas que genera ante los mismos.

Existen hace algunos años libros de texto en los cuales se describe la inervación del sistema fascial, pero los mismos se basan en información limitada al respecto, ya que sólo contaban con investigaciones efectuadas sobre escasas secciones de la fascia, y se vieron obligados a realizar generalizaciones. Sin embargo, en los últimos años más estudios se han llevado a cabo sobre el tejido fascial de diferentes regiones corporales, aumentando así la información disponible sobre el mismo. Es por esto que en la presente revisión se pretende integrar estos nuevos conocimientos con los ya establecidos, y de esta manera llegar a una comprensión más abarcadora acerca de la inervación fascial.

PALABRAS CLAVE

- Fascia
- Inervación
- Receptores
- Fibras nerviosas
- Conducción nerviosa

OBJETIVOS

Objetivo general

Brindar una descripción actualizada de la inervación del tejido fascial.

Objetivos específicos

- Analizar las últimas investigaciones acerca de la inervación de la fascia.
- Cotejar el conocimiento producido en los últimos años con la información previamente establecida.
- Proporcionar una mirada integradora sobre los conocimientos del tema.

JUSTIFICACIÓN

Como es sabido, el conocimiento es la clave para comprender el mundo y solucionar sus problemas. En las ciencias de la salud, el conocimiento de las estructuras corporales es fundamental para entender su funcionamiento, su integración y su importancia, tanto en condiciones normales como patológicas, ya que solo de esta menara podemos aproximarnos a encontrar la solución de los problemas de salud de las personas.

En cuanto al sistema fascial en particular, día a día es mayor la comprensión que se tiene sobre su implicancia en las patologías musculoesqueléticas y en los síndromes dolorosos. Es por esto que la información que se pueda reunir sobre su inervación es crucial para entender su comportamiento y su participación tanto en el movimiento de los segmentos corporales y la transmisión de fuerzas e información entre los mismos, como en el procesamiento del dolor. En la presente revisión se intenta llegar a una descripción más completa de la inervación del tejido fascial, para así comprender mejor su funcionamiento y tener una base sobre donde fundamentar las intervenciones terapéuticas y las manipulaciones realizadas sobre el mismo.

MARCO CONCEPTUAL

Sistema fascial

La fascia es descripta como una extensa red de tejido conectivo que envuelve todas las estructuras corporales, conectándolas entre sí, brindándoles soporte y determinando su forma. Este tejido no sólo separa cada una de las estructuras, asegurándoles autonomía y protección, sino que también las unifica y organiza, garantizando un funcionamiento dinámico y coordinado entre todas ellas, siempre en la búsqueda de máxima eficacia con mínimo gasto de energía.

El tejido fascial puede separarse en superficial y profundo. La fascia superficial está conformada por una red que se extiende desde el plano subdérmico hasta la fascia profunda. Esta red está adherida a la piel, atrapa el tejido adiposo superficial, y provee sostén y protección a las estructuras vasculares y nerviosas que discurren por ella. Entre sus funciones destacan el almacenamiento de agua y grasa, el soporte de los vasos, nervios y capilares linfáticos de la zona, la protección mecánica frente a traumatismos, la sudación y el brindar a la piel la posibilidad de moverse fácilmente sobre los músculos y las estructuras que se encuentran por debajo de la fascia profunda.

Por otro lado, la fascia profunda está constituida por un tejido conectivo más denso que el de la fascia superficial, ya que sus mayores exigencias mecánicas densifican la estructura del colágeno con el cual está conformada. Este tejido fascial es el encargado de soportar, rodear y asegurar la estructura y la integridad de los sistemas muscular, visceral, articular, ósea, nervioso y vascular, vinculándolos entre sí tanto estructural como funcionalmente. En cada uno de estos distintos sistemas la fascia profunda adquiere una designación diferente; en el sistema muscular encontramos los llamados endomisio, perimiso y epimisio, en el sistema visceral pasa a denominarse viscerofascia, en

el sistema nervioso periférico se encuentra el endoneuro, el perineuro y el epineuro, y en el sistema nervioso central estos mismos tejidos se corresponden con las meninges (piamadre, duramadre y aracnoides).

Entre las funciones del sistema fascial en general se pueden destacar la protección y absorción de impactos, la amortiguación de presiones, la formación de compartimientos corporales (dividiendo las estructuras pero a la vez unificándolas y conectándolas), la determinación de la forma de los músculos y de su posición, la suspensión, sostén y soporte de todos los tejidos y sistemas corporales, la nutrición de esos tejidos, la coordinación hemodinámica y la transmisión de impulsos mecánicos a través de toda su estructura.

Todas estas funciones son posibles gracias a la particular composición histológica del tejido fascial, conformada por células y por matriz extracelular. Las células representan el 20% del volumen de este tejido conectivo y se dividen en dos grupos, las células fijas y las células libres. Las primeras incluyen las células adiposas y los fibroblastos, que secretan colágeno, elastina, glucosaminoglicanos y ácido hialurónico. El segundo grupo incluye los macrófagos y las células cebadas.

Por otro lado, la matriz extracelular esté compuesta por proteínas fibrilares y por una sustancia fundamental. Las fibras incluyen las de colágeno (principalmente de tipo I, aunque también de tipo III) y las de elastina; las primeras le brindan al tejido fuerza y resistencia frente a las tensiones, mientras las segundas le proporcionan elasticidad. La proporción entre ambas fibras varía según las solicitudes mecánicas a las que se ven sometidas las diferentes regiones de la fascia. Por otra parte, la sustancia fundamental es una especie de gel en donde se sumergen todas las células y fibras del tejido fascial. La misma está conformada por agua, ácido hialurónico y por moléculas de proteoglicanos, formadas por cadenas de glucosaminoglicanos. La sustancia fundamental actúa como lubricante, como limpiador de desechos y distribuidor de nutrientes.

Sistema nervioso

El sistema nervioso es un complejo conjunto de células especializadas en la conducción de señales eléctricas, que se encarga de dirigir, supervisar y controlar todas las funciones y actividades de las estructuras que conforman el cuerpo. Son millones los fragmentos de información que este sistema capta y transporta desde los nervios y órganos sensitivos, para luego procesarlos y generar las respuestas que llevarán adelante los músculos y órganos efectores.

Para una mayor comprensión de este sistema, el mismo puede dividirse de diferentes maneras, tanto a nivel anatómico como a nivel funcional. Por un lado, a nivel anatómico el sistema nervioso puede dividirse en central (SNC) y periférico (SNP). El SNC está compuesto por el cerebro, el cerebelo, el tronco encefálico y la médula espinal, mientras que el SNP está formado por todos los nervios raquídeos que salen desde la médula y por todas sus proyecciones, que se distribuyen por todos los tejidos del cuerpo.

Por otro lado y a nivel funcional, se pueden encontrar el sistema nervioso somático (SNS) y el sistema nervioso autónomo (SNA). El primero es el encargado de conducir la información sensitiva proveniente de los receptores sensoriales periféricos hasta el SNC, y de llevar los impulsos eléctricos necesarios para la activación muscular voluntaria y para el control motor. En cambio, el SNA se encarga de la regulación de las funciones involuntarias del organismo, del mantenimiento de la homeostasis interna, de la generación de respuestas de adaptación ante las variaciones del medio externo e interno y de la regulación de la temperatura corporal a través del control de la musculatura lisa de los vasos sanguíneos, produciendo vasoconstricción o vasodilatación. A su vez, el SNA puede dividirse en los sistemas nerviosos simpático y parasimpático, los cuales regulan, entre otras cosas, el nivel de activación de las células musculares lisas y de las secreciones de las diferentes glándulas del cuerpo, mediante los tonos simpático y parasimpático.

Sensibilidad somática

La sensibilidad somática es el mecanismo por el cual el sistema nervioso recopila la información sensitiva de todo el cuerpo. Esta puede clasificarse en tres tipos: la mecanorrecepción, formada por las sensibilidades táctiles y posicionales; la termorrecepción, que detecta el frío y el calor, y la nocicepción, que se activa ante los estímulos dolorosos. Otra forma de clasificar la sensibilidad somática es dividiéndola en exterorrecepción e interocepción. La primera corresponde a la sensibilidad que proviene de la superficie del cuerpo, y la segunda corresponde a la sensibilidad propioceptiva, a la sensibilidad visceral y a la sensibilidad profunda (que es la que se origina en los tejidos profundos como músculos, fascias y huesos).

Todas estas percepciones están mediadas por un complejo sistema de receptores sensitivos que detectan los diferentes tipos de estímulos y los convierten en señales nerviosas para su procesamiento en el SNC. Existen cinco tipos básicos de receptores sensitivos: los mecanorreceptores, que detectan estímulos como la compresión o el estiramiento de los tejidos; los termorreceptores, que detectan los cambios en la temperatura; los nociceptores, que detentan los daños físicos o químicos de los tejidos; los receptores electromagnéticos, que detectan la luz en la retina, y los quimiorreceptores, que detectan los estímulos químicos.

De estos receptores, los primeros tres tipos son los que despiertan un particular interés a la hora de estudiar la inervación de los tejidos profundos. Por un lado, los mecanorreceptores encargados de la sensibilidad de estos tejidos son: las terminaciones nerviosas libres, las terminaciones bulbares, las terminaciones en ramillete (como las de Ruffini), las terminaciones encapsuladas (como los corpúsculos de Pacini y sus variantes) y las terminaciones musculares (como los husos neuromusculares y los órganos tendinosos de Golgi).

Destacaremos aquí a las terminaciones nerviosas libres, capaces de detectar el tacto y la presión; a las terminaciones de Ruffini, que son terminaciones encapsuladas multirramificadas encargadas de comunicar las deformaciones lentas y prolongadas de los tejidos; y los corpúsculos de Pacini, que son importantes para detectar la vibración tisular y los cambios rápidos en el estado mecánico de los tejidos (figura 1).

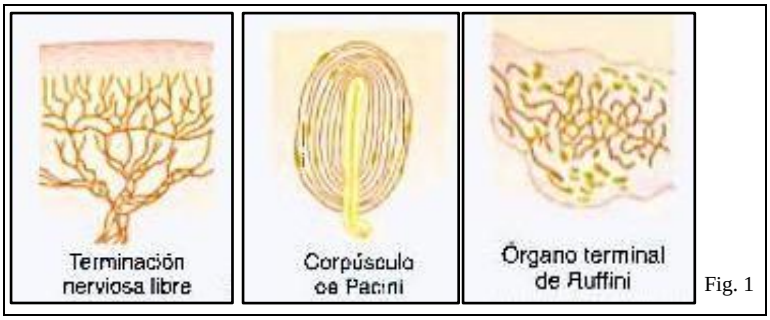


Fig. 1

Por otro lado, los termorreceptores se dividen en dos tipos de receptores especializados, unos para el frío y otros para el calor. Por último, los nociceptores sólo se componen de terminaciones nerviosas libres, que responden a tres tipos de estímulos que pueden generar dolor: estímulos mecánicos, térmicos y químicos (siendo estos últimos provocados por algunos productos como la bradicinina, la serotonina, la histamina y los iones potasio). Algunos estudios indican que los mecanorreceptores pueden actuar como nociceptores si son estimulados más allá de su límite.

Clasificación de las fibras nerviosas

Toda la información recolectada por los receptores sensitivos es conducida hacia el SNC por medio de diferentes fibras nerviosas, que varían tanto en su diámetro como en su velocidad de conducción, dependiendo de la función que cumplan y del tipo de estímulo que capte el receptor. Existen dos formas de clasificarlas, una clasificación de las fibras nerviosas en general y una clasificación de las fibras sensitivas en particular.

En la clasificación general las fibras nerviosas se dividen en los tipos A y C. Las de tipo A son fibras mielínicas de gran tamaño (diámetro de 20 a 1 µm) y de velocidades de conducción altas (de 120 a 6 m/s). Estas se subdividen en fibras α, β, γ y δ, en orden decreciente en cuanto a diámetro y velocidad de conducción. Por el contrario, las de tipo C son fibras amielínicas pequeñas que conducen los impulsos a velocidades bajas (diámetro de 2 a 0,5 µm y velocidad de conducción de 2 a 0,5 m/s).

Por otro lado, los fisiólogos de la sensibilidad han dividido las fibras nerviosas en los grupos Ia, Ib, II, III y IV. Las fibras Ia son las procedentes de los husos neuromusculares y tienen un diámetro medio de 17 µm. Las fibras del grupo Ib proceden de los órganos tendinosos de Golgi, con un diámetro medio de 16 µm (estos dos primeros grupos corresponden a las fibras Aα de la clasificación general). Las del grupo II son fibras procedentes de la mayoría de los receptores táctiles cutáneos y de las terminaciones en ramillete y tienen un diámetro medio de 8 µm (fibras A de tipo β y γ). El grupo III corresponde a fibras que transportan la temperatura, el tacto grosero, el dolor y el escozor; tienen un diámetro medio de 3 µm (fibras Aδ). Por último, las del grupo IV son fibras amielínicas con un diámetro de 2 a 0,5 µm, que conducen las sensaciones del dolor, picor, temperatura y tacto grosero (fibras tipo C).

Los receptores sensitivos especializados como los corpúsculos de Pacini y las terminaciones de Ruffini envían sus señales por fibras nerviosas de tipo Aβ con velocidades de transmisión de entre 30 y 70 m/s; mientras que los receptores táctiles de las terminaciones nerviosas libres lo hacen mediante fibras Aδ con una velocidad de conducción de 5 a 30 m/s. Por tanto, se puede evidenciar como los tipos más importantes de señales sensitivas se conducen por medio de fibras nerviosas de conducción rápida (aunque algunas terminaciones nerviosas libres para el tacto recurren a fibras tipo C con velocidades de 1 a 2 m/s).

Las terminaciones nerviosas libres encargadas de la nocicepción transmiten sus señales a través de dos vías distintas: una vía para el dolor rápido agudo y otra para el dolor lento crónico. La primera se corresponde a estímulos dolorosos de tipo mecánico o térmico y utiliza fibras de tipo Aδ a una velocidad de entre 6 y 30 m/s; mientras que la vía para el dolor lento crónico se corresponde a estímulos químicos o a estímulos mecánicos o térmicos persistentes, y utiliza fibras de tipo C con una velocidad de entre 0,5 a 2 m/s.

Inervación sensitiva segmentaria

Las fibras sensitivas del cuerpo tienen una distribución segmentaria, ya que cada segmento medular entrega inervación sensitiva y motora a diferentes regiones del cuerpo, constituyendo las denominadas metámeras. En cada sistema corporal estas metámeras se expresan de manera diferente. En la piel, la zona cutánea inervada por un segmento medular se conoce como dermatoma (figura 2); el miotoma es un grupo muscular inervado por un solo segmento espinal; se conoce como esclerotoma a la zona del esqueleto inervada por un segmento medular, y de la misma manera se puede dividir el sistema visceral en viscerotomas. Aún no está claramente definida la inervación segmentaria de la fascia, pero el concepto de "fasciotoma" ya ha sido integrado y se lo ha diferenciado del dermatoma (Stecco 2019).

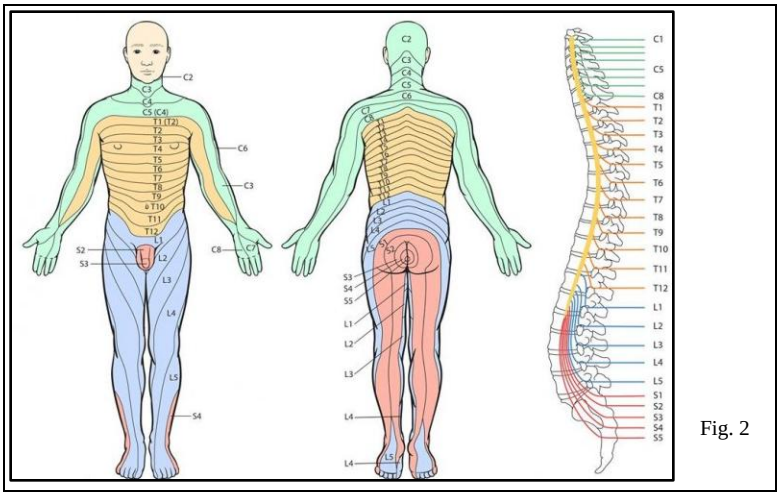


Fig. 2

DISEÑO METODOLÓGICO

Tipo de estudio

Revisión teórica.

Lugar y fecha

Esta revisión fue llevada adelante en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, desde el mes de junio al mes de octubre del año 2020.

Estrategias de búsqueda

La revisión de la literatura se realizó a partir de una búsqueda en la base de datos PubMed, utilizando las palabras en inglés "fascia innervation". A partir de los artículos encontrados, la búsqueda se continuó consultando las referencias bibliográficas de los mismos. Además, se llevó a cabo una búsqueda manual en libros de texto sobre fisiología (Guyton y Hall, 2016) y sobre el sistema fascial (Pilat 2003).

Criterios de inclusión

Para conformar la muestra se tuvieron en cuenta artículos primarios y revisiones acerca de la inervación de la fascia, ya fuera que sean realizados en tejido humano o tejido animal (principalmente ratas debido a que su histología y fisiología son similares y comparables con las de los seres humanos).

No fueron incluidos los artículos que se limitaban a analizar la histología y la inervación de la fascia en condiciones patológicas, como por ejemplo bajo estados de inflamación inducida.

Resultados de la búsqueda

Al ingresar las palabras “fascia innervation” en la base de datos de PubMed se obtuvieron 1.096 resultados, de los cuales 18 fueron considerados pertinentes para la revisión. De estos 18 artículos, tres fueron descartados por tratarse de estudios sobre la inervación fascial en condiciones patológicas. La búsqueda se completó con la consulta de las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados, y también de los que fueron descartados.

Muestra

La muestra quedó conformada por 19 artículos científicos y 2 libros de texto.

RESULTADOS

El conocimiento de la inervación del tejido fascial es fundamental tanto para comprender su funcionamiento como para diseñar planes de tratamiento y justificar manipulaciones terapéuticas. Sin embargo, nuevas investigaciones sobre el tema sólo pueden ser encontradas en los últimos 15 años, debido al creciente interés respecto a este tejido y a que la información producida en el pasado es escasa.

En el siglo pasado, limitadas investigaciones se pueden destacar como relevantes acerca de la inervación del sistema fascial. Stilwell (1957) es el primero en describir la inervación de la fascia profunda y de las aponeurosis de diferentes regiones corporales, como la fascia del antebrazo, la fascia crural, la fascia lata, la fascia dorsolumbar, la fascia del músculo masetero y la de los músculos abdominales. En todas encontró corpúsculos similares a Pacini. Particularmente en la fascia del antebrazo el autor describe plexos nerviosos formados por terminaciones nerviosas libres en mayor medida, por terminaciones encapsuladas tipo Pacini y Golgi-Mazzoni, terminaciones no encapsuladas tipo Ruffini y otras terminaciones no encapsuladas que creyó variantes de receptores de estiramiento por su parecido con los órganos tendinosos de Golgi de los tendones. En fascia crural, fascia lata y fascia de músculos masetero y abdominales los resultados fueron similares a los encontrados en antebrazo. En cambio, en la fascia dorsolumbar se encontró una mayor proporción de terminaciones nerviosas libres, los corpúsculos de Pacini eran más grandes y los corpúsculos tipo Pacini y Golgi-Mazzoni eran más pequeños. Por otro lado, el autor describe que la fascia posee dos fuentes de inervación, una desde la superficie, desde los nervios cutáneos, y otra desde profundo, desde los músculos. Termina concluyendo que existen diferentes tipos de inervación en las distintas regiones corporales, dependiendo de la especialización de la zona y de los estímulos a los que se vean sometidas.

Hirsch, Ingelmark y Miller (1963) analizaron particularmente la inervación del tejido conectivo de la espalda baja. Encontraron en la fascia fibras mielinizadas que finalizaban en terminaciones nerviosas libres y en terminaciones no encapsuladas de tipo Golgi-Mazzoni o Ruffini, a las cuales relacionaron con una posible función propioceptiva. También encontraron fibras amielínicas en relación cercana a vasos sanguíneos, las cuales describieron como fibras simpáticas o fibras aferentes, con una posible relación con la percepción del dolor.

Más adelante, Yahia et. al. (1992) continuarían con la investigación del la fascia toracolumbar (FTL). En la misma describe la presencia de terminaciones nerviosas libres, en mayor proporción, y de dos mecanorreceptores, corpúsculos de Ruffini y Pacini, todos rodeando vasos sanguíneos. Los autores concluyeron que la presencia de los mismos sugería un rol de la fascia toracolumbar en el control espinal lumbar.

En la actualidad se pueden encontrar más estudios realizados sobre la FTL, pero no todos encontraron los mismos resultados que los autores anteriores. En un estudio realizado sobre el tejido conectivo de la espalda baja en ratas, Corey et. al. (2010) se encuentran con la presencia de terminaciones nerviosas libres en la fascia, posiblemente fibras A o C, que creen relacionadas con el procesamiento del dolor. Por otro lado, Tesarz et. al. (2011) lleva a cabo un estudio sobre la FTL en particular, tanto en ratas como en humanos, y encuentran fibras nerviosas en todo el tejido, principalmente en las capas interna y externa (la FTL se compone de tres capas: interna, media y externa). Los autores describen la presencia de fibras simpáticas, de nociceptores (ambos mayoritariamente en la capa externa) y de terminaciones nerviosas libres (solo en la capa externa), pero no encuentran receptores corpusculares como Pacini o Ruffini. Se comparan los descubrimientos hechos en ratas y en humanos y se comprueba que son muy similares, validando de esta manera todos los estudios realizados sobre estos animales.

Mense lleva adelante dos estudios sobre la FTL. En el primero (2015), realizado junto con Hoheisel, se analiza el tejido proveniente de ratas y se encuentran terminaciones nerviosas libres en toda la fascia, con evidencia clara de la existencia de fibras nociceptivas, pero no se encuentran receptores encapsulados. De nuevo se evidencia que en la capa media de esta fascia la densidad de fibras nerviosas es menor que en las demás. En el segundo estudio (2019), el autor analiza tejido humano y los resultados son más esclarecedores. Describe a la FTL como conformada por terminaciones nerviosas libres y por fibras simpáticas, otra vez remarcando la falta de receptores corpusculares. Las terminaciones nerviosas libres se encontraron en las capas superficial y profunda de la fascia, conectándose a la médula por medio de fibras tipo III o IV. Se observó que la mayoría de estas terminaciones se comportaban como nociceptores, aunque no iban directo al cuerno posterior de la médula, sino que eran el principio de un camino nociceptivo que incluía todos los tejidos blandos de la espalda; lo que puede explicar el carácter difuso del dolor de la FTL y la dificultad de distinguirlo del proveniente de otros tejidos de la zona. Sin embargo, no todas las terminaciones nerviosas libres eran nociceptivas, el 45% presentaban un umbral mecánico bajo y podían activarse mediante estímulos mecánicos leves, participando en la propiocepción, lo que podría explicar la falta de los propioceptores típicos. En cuanto a las fibras simpáticas, se observó que representaban el 40% de toda la inervación de la fascia y que se encontraban en cercanía con vasos sanguíneos, con una clara función vasoconstrictora (figura 3).

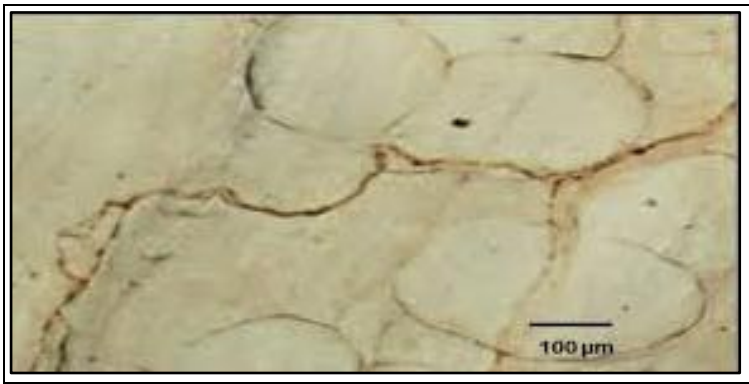


Fig. 3

Pequeñas fibras nerviosas acompañando vasos sanguíneos (apenas visibles).

Si bien estos estudios se contraponen a los resultados encontrados en el siglo pasado, otras investigaciones realizadas sobre distintas regiones del tejido fascial parecieran respaldarlos. Stecco et. al. (2007) llevaron a cabo un estudio sobre diferentes secciones de la fascia profunda del miembro superior y encontraron gran cantidad de elementos nerviosos en todas ellas, pero también que la inervación cambia de una zona a otra. Encontraron pequeños nervios amielínicos y numerosas terminaciones nerviosas libres en todas las secciones, y también, aunque raramente y sólo en algunas secciones, corpúsculos de Pacini, Ruffini y Golgi-Mazzoni. Los autores infieren que ciertas zonas poseen una menor inervación por su rol prevalentemente mecánico. Las terminaciones nerviosas libres se observaron usualmente orientadas de forma perpendicular a las fibras de colágeno, para así verse estimuladas por su estiramiento (figura 4).

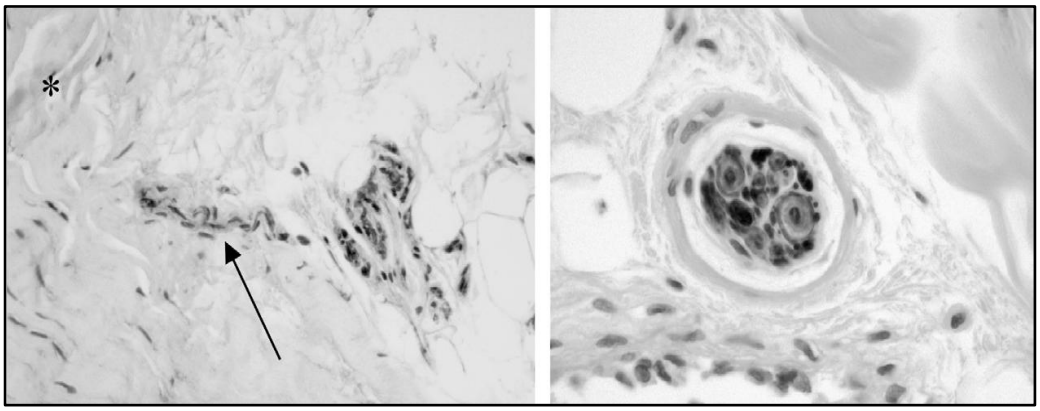


Fig. 4

A la izquierda un terminal nervioso libre que se separa del tronco principal para atravesar perpendicularmente las fibras de colágeno. A la derecha, corte transversal de una fibra nerviosa mielinizada rodeada por fibras de colágeno.

Stecco et. al. realizan otras tres investigaciones sobres diferentes regiones que confirman los resultados encontrados anteriormente y ponen de manifiesto las diferencias existentes en la inervación de diferentes sectores de la fascia. En un estudio que llevaron a cabo sobre la fascia plantar (2013), se revelaron numerosas terminaciones nerviosas libres y corpúsculos de Pacini y Ruffini.

Todas las estructuras nerviosas fueron particularmente evidentes en la parte medial, lateral y distal de la fascia plantar, donde esta es más delgada y se conecta con las articulaciones del pie; esto último sugiere que la fascia plantar tiene un importante rol propioceptivo y en la estabilización de los movimientos del pie. Del mismo modo se encontró que la superficie interna de la fascia plantar, donde se insertan muchas fibras de los músculos de la planta del pie, está más ricamente inervada que la superficie externa.

En otro estudio de Stecco et. al. realizado sobre la fascia de la mano (2018) se encontraron terminaciones nerviosas libres (como las estructuras más frecuentes), corpúsculos de Pacini (aunque de menor tamaño que los clásicos encontrados en los tejidos subcutáneos) y corpúsculos de Golgi-Mazzoni; no se encontraron terminaciones de Ruffini. Al comparar la inervación del retináculo flexor y el de la aponeurosis palmar, se observó que, por un lado, no existían diferencias en la densidad de terminaciones nerviosas libres entre ambos tejidos, pero que, por otro lado, la aponeurosis palmar tenía una mayor densidad de corpúsculos de Pacini y de Golgi-Mazzoni. De esta manera se infiere que la aponeurosis palmar tiene un rol principalmente propioceptivo, mientras que el retináculo flexor tiene un rol de contención mecánica de las estructuras que discurren por la muñeca.

En un tercer estudio, Stecco et. al. (2017) analizan la histología del la fascia visceral y comprueban la existencia de neurofilamentos dentro de toda la extensión de la misma. Observan que la fascia visceral se encuentra dividida en dos capas, una profunda adherida a un órgano específico, y otra superficial que comunica un conjunto de órganos entre sí. Por un lado, la capa profunda posee una mayor densidad de fibras nerviosas amielínicas y se encuentra sólo inervada por el SNA. Por otro lado, la capa superficial tiene una mayor densidad de fibras nerviosas mielinizadas y tiene una inervación sensitiva y somática, además de la autónoma.

Por su parte, Fede et. al. (2020) llevan adelante un estudio sobre la inervación de la fascia y de los diferentes tejidos blandos de la región de la cadera. Encuentran que la estructura más densamente inervada es la piel, seguida, en orden decreciente, por la fascia superficial, la fascia profunda, la cápsula articular y los tendones. Observan que el tejido fascial está penetrado por una extensa red de pequeñas fibras nerviosas que se extiende en todas las direcciones, sustentando así su posible rol propioceptivo, ya que de esta manera es capaz de percibir variaciones de tensión en esa compleja tridimensionalidad, integrando señales de ejes longitudinales, transversales y verticales. Por otro lado, presumen que la fascia superficial está ricamente inervada por fibras autonómicas.

Debido a la creciente estimación de la importancia del rol de la fascia en los procesos dolorosos tanto agudos como crónicos, muchos estudios se han enfocado en la inervación nociceptiva de este tejido. Taguchi et. al. (2013) analizaron el origen de la nocicepción de la fascia crural en ratas. En primer lugar, encontraron fibras nerviosas en todo el tejido, distribuidas principalmente en la parte medial y lateral, raramente en el centro, y evidenciándose más claramente en la capa superficial de la fascia crural que en a capa profunda. Así mismo, observaron que la densidad de fibras era mayor en el tercio distal que en los tercios medio y proximal. Algunas fibras nerviosas corrían de forma paralela a las fibras de colágeno y otras de manera oblicua, pero ninguna transversalmente a ellas ni tampoco en los grandes manojos de fibras de colágeno, probablemente para evitar enviar señales nociceptivas ante las deformaciones del colágeno. Los receptores nociceptivos fueron encontrados en relación a fibras aferentes tipo C y Aδ. Las fibras C se localizaron sólo en el tercio distal de la fascia crural y sólo cerca de la superficie, no en el plano profundo, mientras que las Aδ fueron localizadas en el borde lateral. Las fibras C mostraron respuesta ante diferentes estímulos: punción, compresión, inyección de bradicinina (como estímulo químico) y calor. Ambos tipos de fibras demostraron funcionar como mecanorreceptores, con un patrón de

respuesta dependiente de la intensidad del estímulo mecánico; la magnitud de la respuesta fue mayor en las fibras Aδ. De esta manera se comprobó las diferentes propiedades receptivas de estas fibras: las fibras Aδ son sensibles a la nocicepción mecánica, mientras que las fibras C poseen una nocicepción polimodal. Con este estudio se refuerza la noción de que la fascia es un importante órgano nociceptivo.

Otra investigación que respalda este concepto es la realizada por Gibson et. al. (2009) en la que analizan el papel de la fascia en el dolor muscular posterior al ejercicio. En el mismo someten a los tejidos a un programa de ejercicio excéntrico y luego de analizarlos concluyen que el dolor muscular tardío o DOMS (delayed onset muscle sereness) proviene mayoritariamente de la fascia. Infieren que la fascia posee una alta densidad de fibras aferentes nociceptivas tipo IV, lo que implica la especificidad del tejido para la percepción del dolor.

Otro punto importante a tratar en cuanto a la recepción del dolor, es el estudio del origen del input nociceptivo que llega a las neuronas del cuerno posterior de la médula. En una investigación realizada sobre las estructuras de la espalda baja en ratas (Taguchi et. al. 2008), encontraron que las neuronas del cuerno posterior de la médula recibían un input convergente desde el músculo, la fascia y la piel, y que en algunos casos el input proveniente de la fascia era también bilateral. Se comprobó además que las aferencias que surgen de estas estructuras se proyectan a raíces dorsales ubicadas cranealmente de 2 a 3 segmentos vertebrales. El segmento espinal L2 fue el sitio de mayor procesamiento del input de la espalda baja.

Más adelante, Hoheisel et. al. (2011) realizaron el mismo estudio pero esta vez enfocado únicamente a las aferencias surgidas desde la fascia toracolumbar. Al analizar las neuronas de los cuernos posteriores de los diferentes segmentos vertebrales observaron que las que recibían un input nociceptivo desde la FTL se encontraban en los segmentos espinales T12, L1 y L2. Al igual que en el

caso anterior, aquí también los campos receptivos se encontraban de 2 a 3 segmentos en dirección caudal a las neuronas del segmento espinal analizado. Las neuronas mostraron una alta respuesta ante estímulos nociceptivos. La mayoría de las neuronas del cuerno posterior con input nociceptivo de la FTL también poseían un input desde otros tejidos de la espalda baja, lo que muestra nuevamente que la fascia es el inicio, o forma parte, de un camino nociceptivo que incluye numerosos tejidos. Ningún input de la fascia se encontró en los segmentos L3, L4 y L5, pero el músculo multífido sí presentó aferencias sobre todos los segmentos vertebrales, lo que podría indicar una posible diferencia entre el miotoma y el fasciotoma de un mismo segmento corporal.

Siguiendo con este último concepto, Stecco et. al. (2019) intentan distinguir los términos de dermatoma y fasciotoma. Se sustentan en el que dermatoma, el miotoma y el esclerotoma son tres mapas que no se superponen y que muestran patrones completamente diferentes, y que por lo tanto debería considerarse la posibilidad de que la fascia posea un mapa segmentario distinto a los demás tejidos. Sugieren que los dos tipos de fascia tienen roles diferentes: la fascia profunda tiene un papel fundamentalmente propioceptivo y la fascia superficial colabora con la piel en la exterorrecepción. Exponen así mismo la importancia de separar los términos dermatoma y fasciotoma, siendo el primero la unión de piel, hipodermis y fascia superficial e importante para la exterorrecepción, mientras que el fasciotoma hace referencia solamente a la fascia profunda con un importante rol propioceptivo. Más estudios son necesarios para definir los segmentos del fasciotoma y establecer su importancia.

DISCUSIÓN

A pesar del creciente conocimiento al que se puede acceder hoy en día con respecto al tejido fascial, en los libros de texto de anatomía y fisiología aún son pocos los apartados que se presentan sobre el mismo, brindando pobres descripciones y nombrando sólo algunas de sus funciones. Si bien existen libros que se centran en el sistema fascial en general (como Pilat 2003), cuando se refieren a la inervación fascial en particular, las descripciones son acotadas y generalizadas. Más aún, en las revisiones actuales sobre la fascia y sus funciones, no sólo su inervación es poco abordada, sino que la descripción de la misma también es generalizada.

Como hemos visto en el presente trabajo, si bien el tejido fascial está ampliamente inervado, la inervación no es la misma en todas sus regiones, cambiando tanto en la densidad de fibras nerviosas que presentan como en los tipos de receptores con los que cuentan. Los hallazgos de Tesarz et. al. (2011) en la FTL, difieren mucho con los de Stecco et. al. sobre el miembro superior (2007) y sobre la fascia visceral (2017). Por esta razón valdría la pena replantear la descripción que los textos actuales brindan sobre la inervación del tejido fascial, definiendo si es correcto realizar generalizaciones, o si se deberían realizar distinciones regionales de la inervación. Esto tal vez sería útil a la hora de definir el funcionamiento de una zona fascial, de establecer su posible proceso patológico y de planificar su tratamiento.

Así mismo, más investigaciones son necesarias para establecer cuáles son los factores que determinan la distribución nerviosa de las distintas regiones de la fascia. Sería interesante establecer si estos factores se deben a los estímulos a los cuales se ve sometido el tejido, si se deben a una expresión genética, o si cabría pensar en otra explicación.

CONCLUSIÓN

En conjunto estos artículos demuestran que el tejido fascial se encuentra ricamente inervado. Todos concluyen en que la principal inervación sensorial está dada por terminaciones nerviosas libres que conducen sus impulsos a través de fibras tipo III y IV. Estos receptores son principalmente nociceptivos y ponen de manifiesto el importante papel que juega la fascia en el procesamiento del dolor, tanto agudo como crónico, ya sea como iniciadora del proceso doloroso, o como partícipe de un camino nociceptivo hacia la médula que involucra todos los tejidos circundantes. Esto confirma la importancia de tener al sistema fascial como foco de atención en el tratamiento de muchas de las afecciones musculoesqueléticas.

No todos los investigadores modernos logran corroborar la existencia de receptores corpusculares como Pacini, Ruffini y Golgi-Mazzoni que los estudios del siglo pasado observaron. Pero la falta de los mismos no quiere decir que la fascia no tenga una función propioceptiva, ya que se comprobó la existencia de terminaciones nerviosas libres de bajo umbral mecánico que podrían funcionar como mecanorreceptores. Sin embargo, otros estudios sí cotejaron la presencia de los receptores corpusculares, no siempre todos y no siempre en la misma proporción en todas las regiones. Esto lleva a pensar que así como las fibras de colágeno y elastina cambian de densidad dependiendo de los requerimientos de la zona de la fascia en donde se encuentren, también el tipo de inervación, su densidad y su distribución cambian según la región. Por ejemplo, la capa media de la FTL carece de nociceptores, y una explicación podría ser que debido a que la misma se encuentra sometida a grandes tracciones, si tuviera estos receptores, los mismos se verían estimulados casi constantemente, provocando dolor sin la presencia de una injuria en el tejido. Más estudios son necesarios para determinar con mayor claridad las causas que definen la inervación de cada sector del tejido fascial.

Otro punto importante a destacar es que sólo una fracción de la inervación de la fascia es sensorial, y que se encuentra en gran parte inervada por el SNA. La mayoría de las fibras simpáticas halladas en la fascia se encuentran en relación cercana a vasos sanguíneos y se les atribuye una función vasoconstrictora. Esta inervación autónoma sugiere que el tono fascial puede estar influenciado por el SNA, y que, a la inversa, un estímulo mecánico podría producir un efecto sobre el tono simpático o parasimpático. Pilat (2003) infiere que el estímulo mecánico de estas terminaciones nerviosas puede generar una respuesta autónoma que se puede manifestar con cambios en los ritmos cardíaco y respiratorio, así como también en el nivel de la presión arterial. Un ejemplo de la relevancia de la inervación del SNA puede verse en la FTL, donde el 40% de toda la inervación está provista por fibras simpáticas. Ya que bajo estrés psicológico la actividad simpática es mayor, los investigadores sugieren que la densa inervación simpática puede explicar por qué tantos pacientes con dolor de espalda baja también refieren estar estresados.

Queda de esta manera evidenciada la relevancia que tiene la incorporación de los conocimientos acerca de la inervación de la fascia para llegar a una comprensión más abarcadora sobre el funcionamiento de este tejido y la relación que esto posee con el resto del cuerpo. Además, conociendo los estímulos a los cuales responde el tejido fascial se puede comprender mejor su comportamiento patológico y su relevancia en el procesamiento del dolor. Es imprescindible una constante actualización por parte de los terapistas y kinesiólogos en lo que concierne a la inervación de la fascia (y a todos los temas relacionados con este tejido) para lograr tanto una mejor evaluación del estado del paciente, como una mejor planificación del tratamiento, aplicación de las manipulaciones manuales e indicación de los ejercicios terapéuticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benjamin M,. 2009. *The Fascia of the Limbs and Back - a Review.* Journal of Anatomy, Anatomical Society of Great Britain and Ireland.
- Corey S., et. al. 2010. *Sensory Innervation of the Nonspecialized Connective Tissues in the Low Back of the Rat.* Cells Tissues Organs.
- Fede C., et. al. 2020. *Fascia and Soft Tissues Innervation in the Human Hip and their Possible Role in Post-Surgical Pain*. Journal of Orthopeadic Research.
- Gibson W., et. al. 2009. *Increased Pain from Muscle Fascia Following Eccentric Exercise: Animal and Human Findings.* Springer - Verlag.
- Guyton A. y Hall J. 2016. *Tratado de Fisiología Médica*. Editorial Elsevier, 13º edición.
- Hirsch C., et. al. 1963. *The Anatomical Basis for Low Back Pain: Studies en the Presence of Sensory Nerve Endings in Ligamentous, Capsular and Intervertebral Disc Structures in the Human Lumbar Spine*. Acta Orthopeadica Scandinavica.
- Hoheisel U., et. al. 2011. *Nociceptive Input from the Rat Thoracolumbar Fascia to Lumbar Dorsal Horn Neurones.* European Journal of Pain.
- Mense S., 2019. *Innervation of the Thoracolumbar Fascia*. Eur J Transl Myol.
- Mense S. y Hoheisel U., 2015. *Evidence for the Existence of Nociceptors in Rat Thoracolumbar Fascia*. Journal of Bodywork and Movement Therapies.
- Pilat A., 2003. *Terapias Miofasciales: Inducción Miofascial*. Editorial McGraw-Hill - Interamericana, 1º edición.
- Stecco C., et. al. 2007. *Anatomy of the Deep Fascia of the Upper Limb. Second Part: Study of Innervation*. Elsevier Masson.

- Stecco C., et. al. 2013. *Plantar Fascia Anatomy and its Relationship with Achilles Tendon and Paratenon.* Journal of Anatomy.
- Stecco C. et. al. 2017. *Microscopic Anatomy of the Visceral Fasciae*. Journal of Anatomy.
- Stecco C., et. al. 2018. *Hand Fasciae Innervation: the Palmar Aponeurosis*. Accepted Article.
- Stecco C., et. al. 2019. *Dermatome and Fasciatome*. Wiley Periodicals, Inc.
- Stilwell D., 1957. *Regional Variations in the Innervation of Deep Fasciae and Aponeuroses*. The Anatomical Record, vol. 127, nº 4.
- Taguchi T., et. al. 2008. *Dorsal Horn Neurons Having Input from Low Back Structures in Rats*. International Association for the Study of Pain, Elsevier.
- Taguchi T., et. al. 2013. *Nociception Originating from the Crural Fascia in Rats*. International Association for the Study of Pain, Elsevier.
- Tesarz J., et. al. 2011. *Sensory Innervation of the Thoracolumbar Fascia in Rats and Humans*. Neuroscience, Elsevier.
- Willard F. H., et. al. 2012. *The Thoracolumbar Fascia: Anatomy, Function and Clinical Considerations*. Journal of Anatomy.
- Yahia L., et. al. 1992. *Sensory Innervation of Human Thoracolumbar Fascia - an Immunohistochemical Study*. Acta Orthop Scand.