

ESTUDIO MICROSCÓPICO FUNCIONAL DE LAS INSERCIONES

CIRUGÍA ORTOPÉDICA. BARCELONA

J. J. ZWART MILEGO

1. CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS DE LAS INSERCIONES ÓSEAS

A simple vista o con una lupa simple se aprecia que la inserción consta de dos partes, una central que se fija en el hueso directamente y otra periférica que se aplica lateralmente.

Las inserciones adultas son muy resistentes y al proceder a la tracción no es raro que se rompa antes el tejido óseo que el conectivo o su inserción. Si la inserción ha sido bien disecada, al realizar la tracción en un principio puede observarse una demarcación junto al hueso; si la fuerza es mayor y se llega al arrancamiento, puede observarse que el tejido óseo en la zona de la inserción directa es algo rugoso, irregular y a veces poroso. Siempre cede antes la inserción directa, la periférica es más resistente y más elástica, debido a su mayor longitud y a que la unión se realiza a través de tejidos blandos.

2. CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS DE LAS INSERCIONES ÓSEAS

Los tendones, ligamentos y cápsulas se insertan en el hueso de forma similar, pudiendo ajustarse a dos modelos: penetración perpendicular introduciéndose las fibras colágenas dentro del tejido óseo, denominado **inserción directa**; o por aplicación lateral entrecruzando sus fibras con el periostio, denominado anclaje lateral, perióstico o **indirecto**. Ambas formas fueron descritas por C. Havers en 1691, en su obra *Osteologia Nova*.

Sharpey (10) en 1856 describe las fibras que llevan su nombre, entre ellas existen dos tipos, las de tipo reticular que forman láminas óseas y se parecen al tejido fibroso, y las que cruzan perforando la lámina como clavos, pero también admite que el periostio contribuye a esta unión.

En la **inserción** directa (Fig. 1) las fibras colágenas penetran en el hueso de forma perpendicular o un poco oblicua. Se forma un tejido de transición en el que pueden distinguirse cuatro zonas consecutivas: tejido fibroso, fibrocartilago, fibrocartilago calcificado y tejido óseo. Su descripción primitiva y división fue realizada por Dolgo-Saburoff (3) en 1929, en estudio sobre tendón rotuliano de gato.



Fig. 1. Inserción directa de un ligamento. Especimen conejo. Tinción hematoxilina. 180 aumentos.



Fig. 2. El esquema muestra las cuatro zonas en que queda dividida la inserción: A-tejido fibroso, B fibrocartilago, C-fibrocartilago calcificado y D-hueso.

De forma detallada (Fig. 2): los haces de fibras colágenas al acercarse al tejido óseo varían sus características morfológicas. En la zona primera se observan las fibras colágenas paralelas y onduladas, con los núcleos de los fibroblastos alargados, oscuros y con poco citoplasma alrededor de ellos. En la zona segunda empiezan las células a tener sus núcleos más ovalados, hasta progresivamente hacerse redondos, su citoplasma es claro, se asemejan a las células del tejido cartilaginoso (zona de fibrocartilago), son las denominadas *células vesiculosas o globulosas*. En la zona tercera empieza a producirse una calcificación alrededor de las fibras, es la denominada zona de fibrocartilago calcificado o mineralizado, con un espesor que varía entre 100 y 300 micras (2, 13). Progresivamente pero de forma rápida los cristales de hidroxapatita se encuentran en el interior de las fibras colágenas (7, 12) y el fibrocartilago se convierte en tejido óseo formando la cuarta zona.

En la **inserción perióstica** (Fig. 3) las fibras colágenas abordan el periostio de forma paralela u oblicua entremezclando sus fibras, hasta aplicarse late-

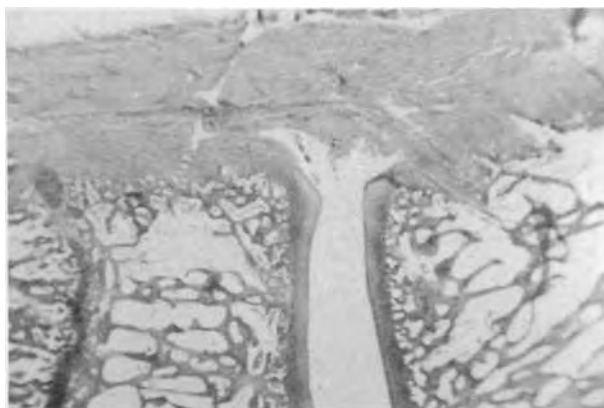


Fig. 3. Inserción perióstica de un ligamento. Aplicación lateral de las fibras colágenas. Espécimen cerdo, articulación meta tarsofalángica. Macrofotografía de la preparación histológica.

ralmente al hueso. Entre las fibras se distinguen dos capas, una superficial que se entrecruza con el periostio y otra profunda que es la que se aplica y penetra en el tejido óseo (13). Este tipo de inserción se puede observar con mayor frecuencia en individuos jóvenes y en muchos casos se trata de una forma evolutiva dentro del desarrollo, hacia la forma de inserción directa, aunque en otros casos ya es la forma definitiva. La observación con luz polarizada permite seguir todo su curso, las fibras intensamente birrefringentes adquieren un aspecto brillante.

Generalmente ambas formas de inserción suelen ir unidas, los haces superficiales de las fibras colágenas del tendón o ligamento entrecruzan sus fibras y las profundas pueden insertarse en cepillo; es lo que se denomina **inserción mixta**, que con la predominancia de una de las dos formas es la manera más frecuente de inserción. En los animales muy jóvenes es posible ver una gruesa zona cartilaginosa entre las fibras del colágeno y el hueso. Según Amprino y Cattaneo (1) los niños tendrían más inserciones periósticas, que en la edad adulta evolucionarían a inserciones directas.

En la capa de fibrocartilago calcificado, aparece una zona tintorial basófila, que se tiñe por la hematoxilina y que ha sido denominada por ello *línea azul, línea cementante o limitante*. Parece que su finalidad consiste a través de procesos enzimáticos, en evitar que el tejido óseo penetre calcificando la estructura cartilaginosa yuxtapuesta; o sea que actuaría como una línea fronteriza entre la zona mineralizada y sin mineralizar (2). Al microscopio electrónico no es posible su identificación (8). Probablemente su lesión produzca la osificación de la inserción; en los casos estudiados de osificación del tendón de Aquiles, en la mayoría existía una lesión previa (6).

El poder de adaptación del tejido conectivo estructurado es notable, si una articulación es sometida a *stress*, la lesión ligamentosa depende de la **velocidad** del movimiento: si es *rápida* la rotura ocurre en el vientre del ligamento; si es *lenta* da tiempo a adaptarse a las fibras colágenas (material viscoelástico) y la rotura ocurre a nivel de la unión osteoperióstica (4, 14). Las fibras colágenas son más resistentes a la distracción que la cortical ósea. Con velocidades lentas la recuperación se produce antes. Pero también la **extensibilidad** de un tendón está en relación con el **tiempo** que dure la tracción, si éste se prolonga aparece una disminución del punto límite de seguridad. La longitud de un tendón es importante, un tendón corto tiene mayor riesgo de rotura que uno largo, debido a que éste tiene mayor deformabilidad y elongación consiguiente (8), siempre para igualdad de diámetros.

3. BIOMECÁNICA DE LAS INSERCIONES

En el apartado 2 se han explicado las características microscópicas de las inserciones y descrito los tres tipos de inserción: directa, perióstica o indirecta y mixta. Desde el punto de vista funcional cada una de ellas reúne una serie de propiedades biomecánicas que son origen y a su vez condicionan su comportamiento. La mayoría de las inserciones tienen morfología mixta, de la proporción existente en cada lugar de anclaje entre la forma directa y la perióstica, derivará su comportamiento físico. Las inserciones directas están reservadas para las uniones más fuertes, que corresponden a tendones con músculos más potentes, en especial en las zonas epifisarias o tuberosidades. Las formas laterales se realizan en las zonas diafisarias, entretejiendo sus fibras con el periostio. La penetración de las fibras en la lámina ósea es común en ambas formas, pero mientras en la inserción directa lo efectúan en su totalidad y perpendicularmente, en la indirecta sólo son las fibras de la capa más profunda y con una incidencia muy oblicua, casi paralela. La observación con luz polarizada pone de manifiesto mucho más claramente estas características.

La inserción cumple **tres funciones** bien definidas, la primera como su nombre indica es servir de **punto de anclaje** en el hueso. La segunda y más importante es servir como un tejido **interfase** entre tendón o ligamento, y el hueso; hay que recordar que los tendones tienen como propiedad física primordial ser el tejido que optimiza la resistencia a la tracción, mientras que inversamente el tejido óseo es el más resistente a la compresión; la única forma de aunar estas propiedades opuestas es la existencia de un tejido de adaptación, interfase, que sea capaz de absorber las tensiones que se producen en el punto de unión. También debe favorecerse el paso entre la flexibilidad del tendón a la rigidez del hueso de una forma gradual, para que no se produzcan desinserciones. La tercera función de la cual se hablará en las conclusiones de esta tesis, es la de servir de **amortiguadores** de forma elástica, debido a las células de la zona fibrocartilaginosa, que son muy abundantes y de gran tamaño esferoidal.

Ese tejido de transición entre tejidos conectivo fibroso y óseo, tiene sobre 1 mm. de espesor, siendo en los niños aproximadamente el doble. Por las características expuestas se comprende que resulte una región muy compleja. En tan sólo 1 mm. de longitud se producen grandes cambios, no únicamente en morfología sino en propiedades físicas. También está afectada la sustancia fundamental pues cambia la composición de sus proteoglicanos (13). También hay que tener en cuenta la desproporción de tamaños, ya que el tendón llega a ser 300 veces más largo que el ancho de su inserción.

Cuando el tendón o ligamento es sometido a un esfuerzo anormal, puede ocurrir la lesión o avulsión de la zona insercional ósea. En adultos predomina la rotura por avulsión en relación a los animales muy jóvenes, situación que se contradice con los trabajos de Woo (24) en conejos. En general lo más común es que la desinserción se produzca por fallos en las zonas de fibrocartilago y fibrocartilago calcificado, que son las capas intermedias de adaptación (24). Tampoco es infrecuente que se produzca un mínimo arrancamiento óseo (3), que clínicamente puede ser observado roetgenográficamente. Según Woo y colaboradores las roturas en las zonas intermedias se produce en los dos tercios de los casos. Las pruebas de resistencia realizadas con las inserciones son muy complicadas debidas a múltiples circunstancias, entre las que se pueden destacar: la dificultad en valorar la región de inserción por su mínimo espacio físico (1 mm); la parte que realmente corresponde a cada tipo de inserción, pues en su mayoría son inserciones mixtas; y aparte una serie de problemas de utillaje como la sujeción de las piezas.

En los arrancamientos de las inserciones mixtas es más frecuente que se lesionen las fibras de inserción directa, actuando las fibras periósticas como mecanismo de seguridad (7, 15, 16, 17). La osteoporosis afecta más a la unión directa (7). La inmovilización de las inserciones produce importantes cambios físicos y bioquímicos; se produce aumento de la rigidez y disminuye el agua y las hexosaminas. El punto de inserción se vuelve porótico (5) y más susceptible de ser lesionado, incluso se interrumpen las fibras que se insertan (7). Cuando se empieza la movilización se recuperan en 9 semanas casi todas las propiedades, pero aun así no llega a estar igual que en el grupo control, pudiendo tardar un año en su recuperación completa (7, 13).

En animales muy jóvenes es posible observar una gruesa zona cartilaginosa entre las fibras de colágeno y el hueso, resultando esta zona un punto débil en la inserción y lugar preferente en los arrancamientos.

Los conjuntos de inserción-hueso para este trabajo, han sido siempre estudiados en estado fresco; se ha elegido como animal idóneo para las experiencias el conejo común, porque sus inserciones son de fácil manejo, e incluso tiene similitudes histológicas con las inserciones del hombre. Las inserciones estudiadas son las siguientes: tendón tricipital en olécranon, tendón de la porción larga del bíceps en glenoides, tendón de Aquiles en calcáneo, tendón rotuliano en tibia. En algunos casos en las experiencias se han empleado preparaciones de la inserción falángica en el cerdo.

Al efecto de agrupar los resultados, se han realizado dos grupos entre los especímenes que se han experimentado: especímenes adultos, aquellos en los cuales las regiones metafisarias de crecimiento ya están calcificadas; y especímenes jóvenes, aquellos que aun presentan cartílagos de crecimiento. Se han realizado estudios sobre 47 individuos, con 71 muestras distintas y un total de 130 preparaciones microscópicas. Corresponden a las inserciones de

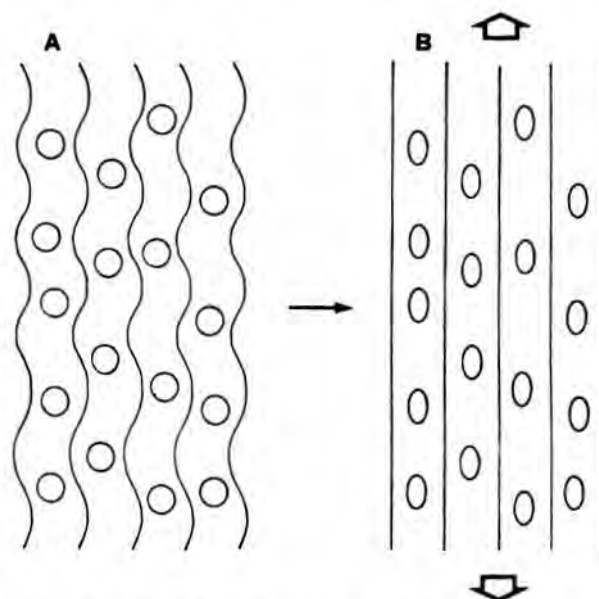
- 20 ligamentos humanos adultos.
- 1 ligamento humano joven.
- 12 tendones humanos adultos.
- 2 ligamentos de cerdo joven.
- 3 tendones de cerdo joven.
- 21 tendones de conejo joven.
- 12 tendones de conejo adulto.

4. RESULTADOS

Es un tema ya investigado, cómo el tejido tendinoso endereza y junta sus fibras cuando es sometido a distracción; con referencia al punto de su inserción hay que distinguir lo que sucede en cada una de las zonas en que se divide.

La primera zona corresponde al tendón o ligamento con su aspecto normal, conservando sus características originales del tejido conectivo fibroso. Paulatinamente cambia la morfología celular, los fibrocitos se hacen más redondeados, se puede ver su citoplasma y adquieren aspecto de células cartilagosas. Se está penetrando en la zona segunda o de fibrocartilago, en la que empiezan a modificarse las características físicas del tejido.

Las zonas segunda y tercera representan un tejido de adaptación que condiciona la unión, haciendo que se produzca un paso gradual entre dos tejidos de propiedades opuestas, el conectivo fibroso resistente a la tracción y el tejido óseo cuya principal propiedad es la resistencia a la compresión. Las células globulosas de la zona de fibrocartilago se comportarían como un sistema hidráulico de esferas llenas de líquido, que rodeadas de una fuerte membrana se deformarían elásticamente ante la compresión (Fig. 4). Actuarían como amortiguadores de la tracción, dotando de elasticidad a la inserción. El mecanismo elástico varía su eje, aquí no se produce compresión en sentido axial, sino en sentido transversal. Las células introducidas entre las fibras, quedan comprimidas entre ellas cuando se endereza su ondulación, se hacen claramente más alargadas y retornan a su posición inicial cuando cede la tensión (14, 15). Después de haber medido el tamaño celular y número de células en una serie



FUNCION DEL FIBROCARILAGO

Fig. 4. En la zona de fibrocartilago, las células vesiculosas se comportan como un sistema hidráulico de amortiguación. Al ser comprimidas entre las fibras colágenas, se deforman aplastándose y volviendo a recuperar su forma al ceder la tracción.

de **20 preparaciones** obtenidas de distintos individuos y hallado su promedio, encontramos que **en la zona de fibrocartilago el 11,25% del tejido está ocupado por células redondeadas** (16), lo cual habla por sí solo de la función biomecánica que les corresponde (Fig. 5). Como es lógico suponer, el tamaño y el número de células varía enormemente de unas inserciones a otras, habiendo encontrado variaciones en el tamaño de los condrocitos entre 10 y 23 micrómetros.

La tercera zona de fibrocartilago mineralizado o calcificado, representa la fase cementante; su forma irregular, quebrada o en llamarada, produce un notable aumento de la superficie de inserción directa; que en el caso de ser rectilínea se vería muy reducida. En esta zona la función amortiguadora del fibrocartilago ya no es necesaria y las células cambian su aspecto, su citoplasma es más oscuro y la orientación de su eje tiende a ser transversal, según la orientación de las laminillas óseas. Hemos tomado medidas en 8 microfotografías de distintos individuos, 2 de ellas humanas, valorando el **incremento** lineal de tamaño que representa el que la inserción se realice de forma quebrada, obteniendo un **promedio** de 3,16 **veces** ($M = 4,24$; $m = 1,57$). (Fig. 6).

En la cuarta zona las características ya son de tejido óseo, viéndose las laminillas y las trabéculas. En ocasiones es posible seguir algunas fibras en su

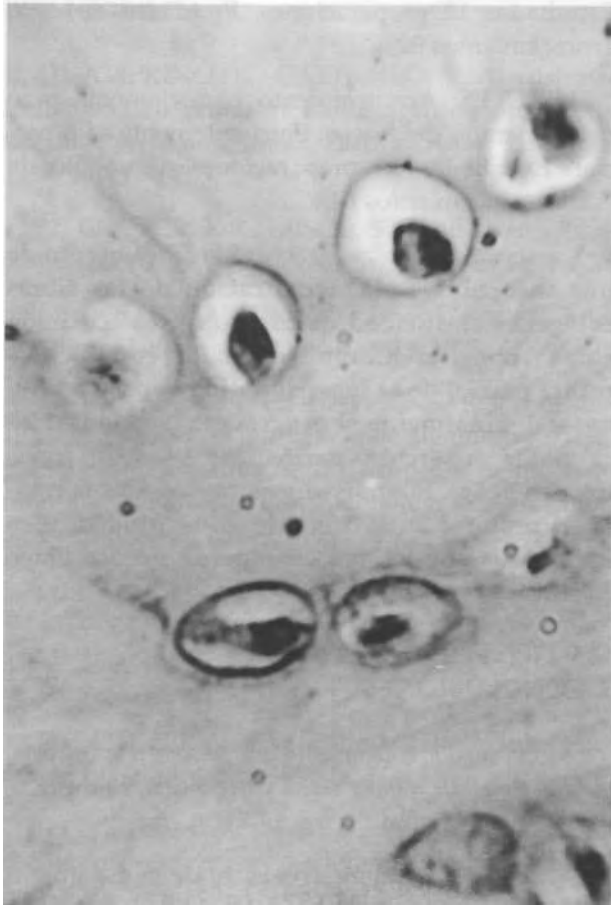


Fig. 5. Las células redondeadas ocupan 11,25% del volumen del tejido de la zona. Proporción elocuente acerca de su función, aunque muy variable. Las células más redondas y claras corresponden a la zona de fibrocartilago ; las más oscuras y ovaladas, a la zona de fibrocartilago calcificado. Espécimen conejo, tendón tríceps-olécranon. 600 aumentos.

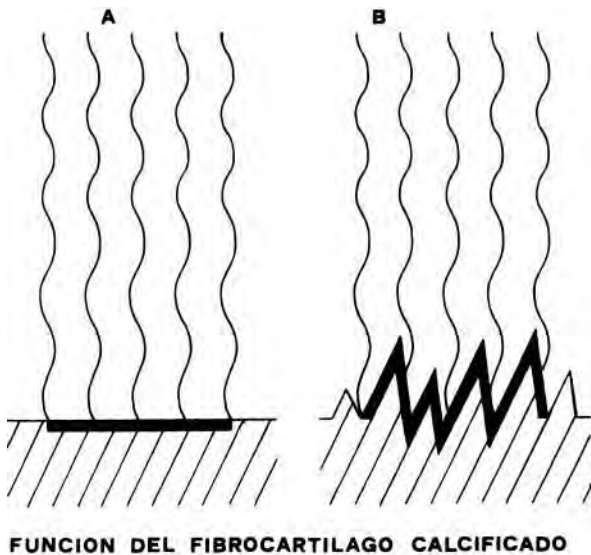


Fig. 6. La forma irregular de la zona de fibrocartilago hace que se incremente el área de inserción en un promedio de 10 veces más.

penetración en el hueso, su visión es difícil pues quedan englobadas en el mismo y sus densidades se igualan. Con luz polarizada pueden distinguirse por el brillo que presentan. Normalmente la observación poco detallada sólo aprecia que el fibrocartilago mineralizado queda convertido en hueso.

Cuando la tracción sobre la inserción aumenta, se produce el arrancamiento del tendón o ligamento; en los casos estudiados la rotura varió en relación al tipo de inserción y en relación a la edad que tenía el espécimen.

Las inserciones adultas directas acostumbran a romperse a nivel del fibrocartilago calcificado, junto a la inserción en el hueso (16); por ello en muchas ocasiones es posible ver radiográficamente una tenue escama ósea separada del resto del hueso (Fig. 7). En los niños es frecuente que el tendón y su inserción resistan y se produzca el desplazamiento del núcleo de crecimiento de una apófisis.

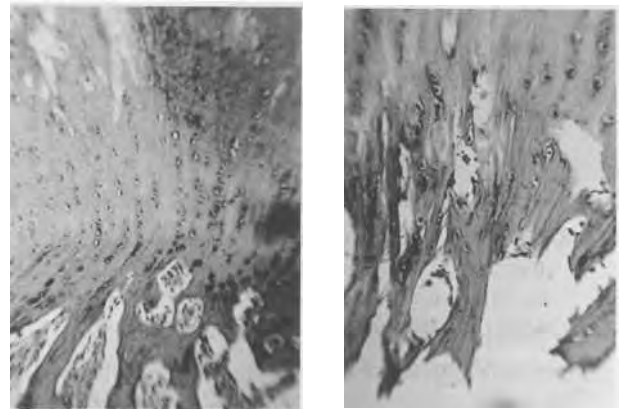


Fig. 7. Por tracción se ha procedido al arrancamiento de la inserción ósea. En la microfotografía derecha puede apreciarse que la rotura se ha producido a nivel de la zona de fibrocartilago mineralizado. En el lado izquierdo la inserción homologa indemne. Este acostumbra a ser el lugar de rotura, aunque en animales muy jóvenes es frecuente a nivel de la zona de fibrocartilago. Espécimen conejo, inserción tríceps-olécranon. 250 aumentos.

En las inserciones periósticas el asunto es algo distinto. También en los adultos aparece una fisura a nivel de las fibras que están junto al tejido óseo, la única diferencia está en que el despegamiento corre longitudinalmente, y es posible ver que por el extremo más distal aún sigue unido (Fig. 8). Se trata con relativa frecuencia de un despegamiento o rotura parcial; tiene el mismo significado que en la inserción directa, o sea que el punto de separación siempre es en la parte de la inserción junto al tejido óseo. En los animales muy jóvenes existe a nivel perióstico una gruesa zona de aspecto cartilaginosa y es normal que a este nivel se produzca la separación.



Fig. 8. Desinserción de una unión perióstica por tracción. La rotura se ha producido en la zona de tejido cartilaginoso, esto ocurre en animales muy jóvenes. Espécimen conejo, tendón rotuliano-tibia. 100 aumentos.

Ya se ha explicado al estudiar las inserciones macroscópicamente, que en las inserciones mixtas se arrancan primero las fibras de la inserción directa, siendo las periósticas más resistentes debido a tener mayor distensibilidad, y actúan como un mecanismo de seguridad.

De forma esquemática puede escribirse.

A. INSERCIÓN DIRECTA:

ADULTOS: Arrancamiento de la capa de fibrocartílago calcificado.

Estudiadas 12 preparaciones. Promedio de estos arrancamientos 96% .

JÓVENES: Arrancamiento de la capa de fibrocartílago. Frecuente arrancamiento apofisario con núcleo de crecimiento propio. Estudiadas 30 preparaciones. Promedio de estos arrancamientos 81%.

B. INSERCIÓN PERIÓSTICA:

ADULTOS: Arrancamiento junto a las fibras que penetran en el hueso. Frecuentemente sólo parcial.

Estudiadas 12 preparaciones. Promedio de estos arrancamientos 92% .

JÓVENES: Arrancamiento paralelamente pero más separado del hueso. Frecuentemente sólo parcial. Estudiadas 30 preparaciones. Promedio de estos arrancamientos 84% .

La secuencia en cadena, del **arrancamiento de una inserción**, sería: **rectificación de las fibras colágenas-elasticidad de dichas fibras-actuación como elemento hidráulico de los condrocitos-rotura parcial de la inserción directa-paso a rotura total. Finalmente si progresa la tracción: rotura de la inserción perióstica**, situación poco frecuente (14). En individuos muy jóvenes la rotura se produce en la zona de fibrocartílago, y en individuos adultos por la zona de fibrocartílago calcificado.

5. CONCLUSIONES

— *Un tendón o ligamento que se somete a tracción, es muy difícil de romper en su parte media, siempre se rompe por la unión.*

- En las inserciones óseas es de suma importancia *la función amortiguadora de los condrocitos*, dependiendo en especial de la integridad y fortaleza de la membrana celular.

- La ondulación del tejido conectivo estructurado y las células globulosas de la región del fibrocartílago en la inserción, forman un *sistema de amortiguación secuencial* ante la tracción longitudinal. En primer lugar actuaría la rectificación de las fibras y a continuación la función amortiguadora hidráulica celular, ya que ésta precisa de la previa rectificación de las fibras.

- A pesar de que la función amortiguadora de los condrocitos es esencialmente a la distracción, debe tenerse presente que también actuaría *protegiendo ante mecanismos de tracción lateral y torsión.*

— Pasar de un elemento tan sutil y delicado como una fibrilla colágena, a la resistencia de un tendón o ligamento, y de aquí a una inserción ósea, desproporcionadamente pequeña, implica la interacción de una serie de condicionantes que pueden ser resumidos en tres: **fibras como estructura resistente, sustancia interfibrilar como elemento coherente y complejidad de la inserción para amortiguar el esfuerzo**, destacando en ésta la deformación elástica de los condrocitos y el aumento de superficie que representa la inserción en forma quebrada.

BIBLIOGRAFÍA

(1) AMPRINO, R.; CATTANEO, R.: Il substrato istologico delle varia modalità di inserzioni tendinee alle ossa dell'uomo. *Ztschr. Anat. Entwickl.* 1937, 107: 680-705.

(2) COOPER, R.R.; MISOL, S.: Tendon and ligaments insertion. *J. Bone Joint Surg.* 1970, 52-A: 1-20.

(3) DOLGO-SABUROF, B.: Über Ursprung und Insertion Skelettmuskel. *Anat. Anz.* 1929, 68: 80-87.

(4) KENNEDY, J. C.; HAWKINS, R. L., et al.: Tension studies of human knee ligaments: Yield point, ultimate failure, and disruption of the cruciate and tibial collateral ligaments. *J. Bone Joint Surg.* 1976, 58-A: 350-355.

(5) LAROS, G. S.; TIPTON, G. M.; COOPER, R. R.: Influence of physical activity on ligament insertion in the knee of dog. *J. Bone Joint Surg.* 1971, 53-A: 275-286.

(6) LOTKE, P. A.: Ossification of the Achilles tendon. *J. Bone Joint Surg.* 1970, 52-A: 157-170.

(7) NOYES, F. R.; TORVIK, P. J., et al.: Biomechanics of anterior cruciate ligament failure. *J. Bone Joint Surg.* 1974, 56-A: 1406-1418.

(8) PERUGIA, L.; POSTACHINI, F.; IPPOLITO, E.: I Tendini. *Biologia-Patologia-Clinica*. Masson Italia editorj. Milano, 1981.

(9) RIGBY, B. L.: Effect of the cyclic extension on the physical properties of tendon collagen and its

possible relation to the problem of ageing collagen. *Nature*. 1964, 202: 1072-1074.

(10) SHARPEY, W.: Citado por Cooper y Misol.

(11) TURBLIN, J.: Coureur à pied. Etio-pathogénie du tendinite d'Achille. *Médecine du Sport*. 1987, 5: 240-242.

(12) VIDEMAN, T.: An experimental study of effects of growth on the relationships of tendons and ligaments to bone at the site of diaphyseal insertion. *Acta Orthop. Scand. Suppl.* 1970, 131: 1-22.

(13) WOO, S. L. Y.; BUCKWALTER, J. A.: Injury and Repair of the Musculoskeletal Soft Tissues. Ed. American Academy of Orthopaedics Surgeons. Illinois, 1987.

(14) ZWART, J. J.: *Estudio biomecánico de los tendones y ligamentos*. Tesis Doctoral: Universidad Autónoma de Barcelona, 1992.

(15) ZWART, J. J.: Patología de la inserción tarsiana. *Rev. Medicina y Cirugía del Pie*. 1989, 3, 2: 23-28.

(16) ZWART, J. J.: II Congreso de la Sociedad Catalana de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Ponencia sobre *Estructura microscópica funcional de las inserciones óseas de tendones y ligamentos*. Manresa, 28-29 de abril 1989.

(17) ZWART, J. J.: XXX Congreso Nacional de la SECOT. Mesa redonda sobre patología insercional: *Inserciones óseas de tendones y ligamentos*. 5-10-93.