



Anatomía e irrigación de la diáfisis tibial, su relación con las fracturas del adulto

Simondi, Néstor.

Tesis-Doctor en Medicina y Cirugía-Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Médicas.

Aprobada: 2018

Este documento está disponible para su consulta y descarga en RDU (Repositorio Digital de la Universidad Nacional de Córdoba). El mismo almacena, organiza, preserva, provee acceso libre y da visibilidad a nivel nacional e internacional a la producción científica, académica y cultural en formato digital, generada por los miembros de la Universidad Nacional de Córdoba. Para más información, visite el sitio <https://rdu.unc.edu.ar/>

Esta iniciativa está a cargo de la OCA (Oficina de Conocimiento Abierto), conjuntamente con la colaboración de la Prosecretaría de Informática de la Universidad Nacional de Córdoba y los Nodos OCA. Para más información, visite el sitio <http://oca.unc.edu.ar/>

Esta obra se encuentra protegida por una Licencia Creative Commons 4.0 Internacional



Anatomía e irrigación de la diáfisis tibial, su relación con las fracturas del adulto por Simondi, Néstor se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS

TRABAJO FINAL DE TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE

DOCTOR EN MEDICINA Y CIRUGÍA

TÍTULO:

**ANATOMÍA E IRRIGACIÓN DE LA DIÁFISIS TIBIAL,
SU RELACIÓN CON LAS FRACTURAS DEL ADULTO**

PERTENECIENTE A

SR. MÉD. NÉSTOR SIMONDI

DIRECTOR DE TESIS:

PROF. DR. ESTEBAN JÁUREGUI

CÓRDOBA, 2018

COMISIÓN DE SEGUIMIENTO

Director de Tesis

PROF. DR. ESTEBAN JAUREGUI

Integrantes

PROF. DR. CARLOS A SÁNCHEZ CARPIO

PROF. DR. FLORENCIO SEGURA

DEDICATORIA

A mis padres, Perla y Antonio.

A mis suegros, Alba y Carlos.

A mi esposa, María Mercedes.

A mi hijo Federico y a mi hija Emilia.

A Diego Germán.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a los integrantes de la comisión de tesis, con especial mención a mi director el Prof. Dr. Esteban Jáuregui, que me ha motivado a realizar este trabajo, por su dedicación, conocimientos y aportes brindados, y por su espíritu docente que en él nunca cesa.

A los Profesores Doctores Carlos Alfredo Sánchez Carpio y Florencio Segura quienes sirvieron de guía y aportaron su valiosa experiencia en la elaboración del presente trabajo.

Desde lo más profundo de mi corazón al Dr. Sánchez Carpio, Diego Germán; el cual me impulso, acompañó, y me hizo crecer en todos los aspectos de mi vida, hombre tenaz, visionario, audaz, paciente y muchísimas cualidades más que respeto y admiraré siempre, ejemplo a seguir.

Al Prof. Dr. Carlos De Anquín (h), quién permitió con su apoyo el desarrollo de este trabajo de tesis en el Cátedra de Ortopedia y Traumatología del Hospital Escuela Nacional de Clínicas de Córdoba.

Al Sr. Jefe del Servicio de Ortopedia y Traumatología del Hospital Universitario Nacional de Clínicas de Córdoba, Dr. Miguel A. Calantoni; quien me proporcionó desinteresadamente en ámbito quirúrgico y de sala para el tratamiento de los casos intervenidos.

A la Dr. Mario Pieroni, que colaboró con la realización de los estudios hemodinámicos en el Hospital Italiano de Córdoba.

Al Servicio de Diagnóstico por Imágenes del Hospital Nacional de Clínicas y del Hospital Italiano de Córdoba, la Dra. María Elena Castrillón.

A los Srs. Médicos Daniel Ramos, Mauricio Torres y Jorge Lagos, que colaboraron activamente en las disecciones, angiorresonancias, angiografías, búsquedas bibliográficas.

Mi reconocimiento a profesores, médicos, docentes y no docentes de la Cátedra de Anatomía Normal, Hospital Nacional de Clínicas, Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de Córdoba y del Hospital Italiano de Córdoba, y a todos aquellos que de una forma u otra colaboraron en la realización del presente trabajo.

A mis queridos Hospitales, Hospital Nacional de Clínicas y al Hospital Italiano con sus integrantes que siempre, siempre, estuvieron allí para Mí, brindándome todo lo necesario para poder desarrollar mi especialidad y mi vida laboral.

A los pacientes que supieron confiar en el sistema médico y que depositaron su salud en mis manos sin cuestionamientos.

A mis colegas amigos, siempre fuente de confianza y científica para consultar y definir en caso de problemas de difícil resolución.

REGLAMENTO DE CARRERA DE DOCTORADO

Artículo 28:

"LA FACULTAD DE CIENCIAS MEDICAS NO SE HACE SOLIDARIA CON LAS OPINIONES DE ESTA TESIS".

ÍNDICE

Introducción	1
Objetivos.....	25
Material y Métodos	26
Resultados	43
Discusión.....	65
Conclusiones.....	83
Bibliografía.....	85

RESUMEN

Introducción

La pierna en el ser humano, es la tercera parte de un complicado sistema de segmentos, uniones y músculos que comprende el miembro inferior y forma la parte principal del esqueleto de sostén y locomoción del ser humano.

La tibia, es el hueso más grueso resistente e importante de la pierna. Su cuerpo es prismático triangular en un corte transversal y dibuja una "S" alargada en sentido longitudinal.

Las fracturas diafisarias de la tibia están entre las más frecuentes en la práctica ortopédica diaria, su alta incidencia no es casual y responde puramente a razones anatómicas, debido a su localización en las extremidades inferiores y su situación subcutánea con pobre cobertura de partes blandas.

La escasa cobertura muscular de la tibia distal empobrece su irrigación sanguínea y por eso aumenta el riesgo de complicaciones óseas durante el tratamiento, como son el retardo de consolidación y la pseudoartrosis.

El foramen o agujero nutricio de este hueso, es un accidente anatómico de suma importancia, porque allí se encuentra la entrada que tiene la tibia para su irrigación, se sitúa por debajo de la línea del sóleo y presenta una dirección oblicua de arriba hacia abajo.

Objetivos Generales

Estudiar y describir anatómicamente la diáfisis tibial y su irrigación.

Objetivos Específicos

Identificar macroscópicamente la arteria nutricia de la tibia y su entrada ósea en las disecciones anatómicas.

Determinar el origen de la arteria nutricia tibial en angiografías digitales de miembros inferiores.

Establecer sitio de fractura y el tiempo de consolidación en pacientes operados con la técnica propuesta.

Conocer y clasificar variantes anatómicas de la arteria nutricia.

Aportar conocimientos para el tratamiento efectivo de las fracturas de la diáfisis tibial.

Material y métodos

Es un estudio descriptivo observacional, transversal y prospectivo.

El universo muestra, comprendió el estudio de sesenta (60) tibias consecutivas en tres grupos: Grupo A: diez (10) especímenes cadavéricos humanos adultos, veinte (20) tibias. Grupo B: veinte (20) casos de pacientes adultos jóvenes con fracturas unilaterales de diáfisis tibial cerradas sin comorbilidades.

Grupo C: veinte (20) casos de pacientes analizados con estudio hemodinámico (arteriografía digital).

El período de estudio fue entre el 1º de agosto de 2014 y el 31 de marzo de 2016, en los Servicios de Traumatología y Ortopedia del Hospital Italiano de Córdoba y del Hospital Escuela Nacional de Clínicas de Córdoba.

Las variables analizadas fueron, sexo, edad, tipo de fractura, longitud tibial y distancia al agujero nutricio.

Criterios de inclusión: ambos sexos, mayores de 21 años, consentimiento informado y seguimiento clínico-radiográfico de la fractura >12 meses.

Criterios de exclusión: tumores, enfermedades metabólicas (Diabetes mellitus, infecciones, inmunodeprimidos), patología vascular del miembro inferior, negativa a participar, fracturas expuestas y conversiones.

Resultados

Se pudo observar predominio del sexo masculino (60%), la distribución etaria mostró que la mayor cantidad de casos fueron de mayor edad (>48 años). Grupo A (disecciones) 50 y 81 años, Grupo B (cirugía) 21 y 50 años, y Grupo C (angiografías) 51 y 68 años. Según el tipo de fractura predominaron los tipos B2 y A3, seguidos de los tipos A2 y A1. El nacimiento de la arteria nutricia sólo se objetivó en 40 casos, 20 del grupo A y 20 del grupo C. La longitud tibial en los tres grupos mostró escasas diferencias ($p=0,9978$). Las distancias al agujero nutricio en los grupos al igual que las longitudes tibiales, no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0,4607$).

Conclusiones

En la anatomía contemporánea los autores concluyen y coinciden con los detalles anatómicos descriptos en los textos. La irrigación está dada en la tibia por una arteria nutricia, su entrada ósea en el foramen tiene una inclinación de arriba hacia

abajo y de atrás hacia adelante y la misma está protegida por una membrana fibrosa de forma triangular, con inserción en los bordes del foramen, de color nacarado que hace de techo en su entrada, éste hallazgo anatómico demostrado por nuestras disecciones no se encuentra relatado en los libros de anatomía descriptiva ni en bibliografía revisadas. La arteria nutricia proviene en la mayoría de los casos del tronco tibioperoneo, un porcentaje menor de la arteria tibial anterior, y aún menor de la arteria tibial posterior; la parte exóstica de este hueso esta irrigada por el periostio.

La fractura sin desplazamiento o con desplazamiento <2 mm en la región superior al foramen de entrada de la arteria nutricia, tiene más posibilidades de consolidación que si la fractura se produce debajo de éste.

En las fracturas desplazadas que producen la ruptura de la arteria nutricia a cualquier nivel, la circulación se invierte y toma un papel fundamental el periostio.

INTRODUCCIÓN

El miembro inferior en el ser humano, es un complicado sistema de segmentos, uniones y músculos que en situaciones dinámicas como correr, saltar o brincar, lo realiza con suma agilidad y a veces sin fatigarse a pesar de la complicada tarea de controlar nuestras piernas.

La pierna forma parte del tercer segmento del miembro inferior y cobra importancia por ser el principal esqueleto de sostén y locomoción del cuerpo humano.

Según Blickhan R y cols¹, esto se debe a un cuidadoso arreglo y afinación de todas sus propiedades de las cuales sobresalen la estabilidad y la robustez.

Los sistemas sólidos y estables son fáciles de controlar. En este sentido varios autores manifiestan que *“la investigación sobre la biomecánica de la locomoción animal y humana proporciona una visión de los principios básicos de la locomoción y sus respectivas implicancias. El funcionamiento casi elástico de la pierna es necesario para reproducir la dinámica básica de caminar y correr. La elasticidad de la pierna en conjunto con sus partes blandas conserva las características de la estabilidad y amortiguación”*.

El término tibia, proviene del latín *tibia* (m) que significa *flauta*, es el hueso más grueso, resistente e importante de la pierna.^{2,3}

Es un hueso prismático triangular y en su conjunto no es del todo rectilíneo, dibuja una “S” itálica alargada con dos curvaturas, una superior cóncava lateralmente y otra inferior cóncava medialmente^{4,5}.

Si bien la diáfisis tibial es el segmento más fuerte de la región, estadísticamente es la más expuesta a traumas y por ende la que más se fractura, ya que tiene una cara cubierta solamente por piel y tejido celular subcutáneo por lo que la hace más vulnerable.

Es el segundo hueso más largo del cuerpo humano después del fémur, está articulada en su parte superior con el fémur y la rótula, lateralmente con el peroné y en su parte inferior con el tobillo.

El peroné o fíbula se localiza lateralmente a la tibia, articulándose en su parte superior e inferior, su extremo superior está situado hacia atrás y por debajo de los

platinos tibiales, excluida de la articulación de la rodilla, mientras que su extremo inferior se inclina hacia adelante proyectándose por debajo de la tibia para formar parte de la articulación del tobillo.

La tibia presenta en sus extremidades las epífisis que son dos segmentos, uno proximal (Figura 1) y otro distal (Figura 2), éstos segmentos se delimitan por un cuadrado cuyos lados son de la misma longitud que del lado más ancho de la epífisis en cuestión (Figura 3), por lo que su diáfisis o cuerpo tibial (Figuras 4 y 5) es la superficie ósea que queda comprendida por debajo y arriba de estos cuadrados, superficie que coincide de la misma manera, si trazamos por arriba una línea a 6 cm por debajo de la articulación de la rodilla y por abajo una línea a 6 cm por arriba de la articulación del tobillo.^{2,6,7}



Figura 1: Extremidad tibial proximal.

Figura 2: Extremidad tibial distal



Figura 3: Epífisis y metáfisis tibial. Longitud igual a ancho.



Figuras 4 y 5: Diáfisis tibial. Vistas: anterior (izquierda) y posterior (derecha).
Cátedra Anatomía Normal F.C.M. – U.N.C.

Presenta para su estudio dos epífisis, superior e inferior, una diáfisis o cuerpo, con tres caras, antero medial, lateral y posterior y tres bordes anterior, medial y lateral o interóseo. El borde anterior es neto y cortante en la diáfisis, se lo denomina también cresta de la tibia, el borde medial presta inserción a la fascia profunda de la pierna y algunas fibras musculares del flexor largo de los dedos y en el borde interóseo se inserta la membrana interósea.^{2;5}

Los músculos de la pierna que cumplen una importante función en la irrigación de la tibia, se encuentran en tres regiones, anterior, lateral y posterior, pero solo cuatro músculos de estas regiones tienen una inserción íntima en la diáfisis tibial, la cara antero medial está cubierta sólo por el tegumento cutáneo, la cara lateral en sus dos tercios superior presta inserción al músculo tibial anterior y la cara posterior que

presenta una cresta oblicua que va de arriba hacia abajo y de afuera hacia adentro formando la línea del sóleo, separa a esta cara en una parte superior que está en relación con el músculo poplíteo y una parte inferior que presenta una cresta vertical que divide a esta parte de la cara posterior en una región medial para la inserción de los músculos flexor largo de los dedos que se inserta en la cresta del sóleo inmediatamente por debajo de éste y en el tercio medio de la cara posterior, el tibial posterior que se inserta en la línea del sóleo por debajo de éste y lateralmente al flexor largo de los dedos y el sóleo que se inserta en la cresta del sóleo y en el tercio medio del borde medial.

Estas estructuras musculares son de extrema importancia en la irrigación perióstica y cobertura de este hueso.

La porción distal de la tibia se encuentra en relación íntima con múltiples estructuras principalmente de tipo tendinoso con muy poca cobertura muscular lo cual determina una pobre vascularización en esta área.

MÚSCULOS ESPECÍFICOS DE LA REGIÓN POSTERIOR DE LA PIERNA: CONOCIMIENTO INDISPENSABLE PARA LAS DISECCIONES.

Músculo	Gemelos Interno y Externo	Sóleo	Plantar Delgado	Poplíteo
Forma	Masa Voluminosa	Hoja gruesa aplanada	Triángulo adelgazado puede faltar.	Músculo pequeño del hueso poplíteo.
Localización	Forma superficialmente la “pantorrilla”.	Debajo de los Gemelos.	Lado póstero-externo de la Rodilla por encima del Gemelo externo.	En el cóndilo externo femoral y Cartílago Menisco interarticular externo de la Rodilla.
Origen	Los Gemelos interno y externo se originan de tendones en los respectivos Cóndilos Femorales.	Cara posterior de la Cabeza Peronea, en la línea oblicua de la Tibia y en el Tabique	Cresta Supracondílea y Cóndilo Femorales externos, por arriba del Gemelo externo.	Cruza la articulación de la Rodilla hacia dentro, hacia la cara posterior de Tibia.
Dirección de las Fibras	Las fibras pasan inferiormente hacia una fusión membranosa con las fibras del sóleo.	Se expande en una hoja ancha y gruesa que desciende para entrar en fusión membranosa con los gemelos.	Desciende verticalmente en un tendón adelgazado entre los gemelos y el sóleo.	
Inserción	La fusión de los tres músculos forma el tendón de Aquiles, que se extiende verticalmente para insertarse en la cara posterior del calcáneo.	La fusión de los tres músculos forma el tendón de Aquiles, que se extiende verticalmente para insertarse en la cara posterior del calcáneo.	El tendón desciende medialmente para insertarse en el lado interno del calcáneo o el tendón de Aquiles.	
Acción	Flexión plantar.	Flexión plantar.	Muy discutida, pero se cree que no tiene importancia	Puede actuar como estabilizador de la articulación de la rodilla.
	Ayuda a la inversión del pie.	Ayuda a la inversión del pie.		
	Ayuda en la flexión de la rodilla, si el pie no está en flexión	Ayuda en la flexión de la rodilla, si el pie no está en flexión		
Inervación	Ciático Poplíteo interno.	Ciático Poplíteo inter.	Ciático Poplíteo interno.	Ciático Poplíteo interno.

Los músculos gemelos o gastrocnemio y el sóleo forman un músculo tricéfal que se inserta en el calcáneo mediante el tendón de Aquiles y levanta el cuerpo sobre las cabezas de los metatarsianos. Todos los demás músculos y tendones que cruzan la articulación del tobillo por detrás del centro de la gravedad ayudan a esta acción.

Músculo	Flexor Largo Común de los dedos del Pie.	Flexor Largo del Dedo Gordo.	Tibial Posterior.
Forma	Hoja plana.	Hoja gruesa.	Hoja plana.
Localización	Cara interna de la pierna debajo del tríceps sural.	Cara externa de la pierna a un lado del flexor largo común de los dedos.	Profunda por debajo de los músculos flexores.
Origen	Cara póstero-interna de la tibia, debajo de la oblicua.	Amplio origen de los tercios inferiores de la cara posterior del peroné y el ligamento interóseo adyacente.	Amplio origen en el ligamento interóseo y caras adyacentes de tibia y peroné.
Dirección de las Fibras	Las fibras entran a un tendón largo en el lado interno del músculo, y luego descienden para tomar dirección anterior detrás del maléolo interno en su vaina sinovial junto con el tendón del flexor largo del dedo gordo; en la planta se divide en cuatro tendones.	Su tendón pasa junto con el del flexor largo común por detrás del maléolo interno en su propia vaina sinovial para extenderse hacia delante en la planta del pie.	Convergen en un tendón largo en lado interno del músculo, el cual se grave un surco por detrás del maléolo interno, por dentro de los tendones profundo de los flexores; toma dirección anterior en la profundidad de la planta
Inserción	Da un tendón para cada uno de los cuatro dedos externos, insertándose en la cara plantar de su falange distal.	Cara plantar de la falange distal del dedo gordo.	El tendón se expande para insertarse en el tubérculo del escafoides, en las cuñas y las bases de los huesos metatarsianos segundo, tercero y cuarto.
Acción	Flexión de las falanges Distal de los cuatro dedos externos.	Flexión de la Falange Distal del Dedo gordo.	Es el músculo más fuerte en la inversión del Pie.
Inervación	Ciático Poplíteo interno.	Ciático Poplíteo interno.	Ciático Poplíteo interno.

* L. TESTUD Y O. JACOB

De lo expuesto se deduce que las fracturas, cuya localización estén en la diáfisis y que puedan ser en el tercio superior, medio o inferior, van a ser de más difícil consolidación mientras más distales sean.²

Schmidt y cols⁸ afirman que las FCDT son las más frecuentes de los huesos largos y representan aproximadamente, 77.000 ingresos en Estados Unidos de Norteamérica y 596.000 días de hospitalización con un promedio de 7,4 días con más de 825.000 visitas a consulta externa en un año. Su alta incidencia no es casual y responde puramente a razones anatómicas, ya que se localizan en las extremidades inferiores y se sitúa subcutáneamente con una pobre cobertura de partes blandas.

Según Toivonen y cols⁹, las fracturas diafisarias de tibia son las más frecuentes de los huesos largos, el 77% de ellas son cerradas, en el año 1999 un total de 1422 pacientes fueron tratados por este traumatismo en los hospitales de Finlandia con una incidencia de 28/100.000; respecto al tratamiento, publican que se puede llevar a cabo de dos formas, conservador o quirúrgico bajo un enfoque clínico y radiológico. El conservador se justifica para fracturas con ligero desplazamiento inicial. En tales casos, se debe recomendar un yeso funcional cerrado. El quirúrgico es con clavo intramedular bloqueado que debe aplicarse cuando se necesita una reducción cerrada bajo anestesia para lograr una buena alineación rotación y estabilidad.¹⁰

En base a lo referido, cabe una pregunta ¿el tratamiento debe ser conservador o quirúrgico?, para seleccionar el método de tratamiento adecuado para cada paciente de forma individual se hace necesario conocer las indicaciones propuestas por Schmidt⁸ en el conservador; en el quirúrgico por el precedente, Konstas y cols¹¹ y Villanueva y Soria¹².

Tratamiento conservador (yeso)

1. Daño mínimo asociado de las partes blandas
2. Fracturas estables definidas como: angulación coronal <5°, angulación sagital menor de 10°, rotación menor de 5° y acortamiento <1 cm.
3. Capacidad para rápido apoyo del peso con enyesado o método funcional.
4. Las demás formas de fracturas son quirúrgicas.

TRATAMIENTO QUIRÚRGICO

Esta modalidad puede ser de diversas formas, las más utilizadas son enclavijado intramedular con clavos Enders®, clavos acerrojados no fresados, clavos fresados acerrojados, fijación con placas y tornillos, placas Mippo® y aplicación de fijación externa monoplanar o circular Ilizarov®.

Por su parte, Bhandari y cols¹³ refieren algunas contraindicaciones que deben ser tenidas en cuenta en el enclavijado intramedular:

1. Canal intramedular <6 milímetros, porque el fresado es excesivo. Schmidt y cols⁸ refrenda esta situación al decir que los pacientes con canal intramedular estrecho representan un tercio de los pacientes (canal medular <8 mm).
2. Contaminación del canal medular.
3. Daño de partes blandas que compromete la viabilidad de la extremidad.
4. Deformidades previas del canal medular.
5. Presencia de prótesis total de rodilla y artrodesis ipsilateral.

Retomando la descripción anterior de fracturas, cuando son expuestas, desde el punto de vista conceptual significan la comunicación del “foco de fractura” con el exterior que tienen en común tres factores de riesgo fundamentales, su alta posibilidad de contaminación, gran daño de tejidos blandos y hueso y dificultad para el manejo tanto conservador como quirúrgico a causa del daño óseo y de partes blandas asociadas, que conllevan una alta incidencia de complicaciones.^{14,15,16}

La escasa cobertura muscular de la tibia distal empobrece su irrigación sanguínea y es por eso que aumenta el riesgo de complicaciones óseas durante el tratamiento, como el retardo de consolidación. Estas dificultades convierten a las fracturas de tibia en un tema de discusión en cuanto a su tratamiento.^{17,18,19,20,21,22}

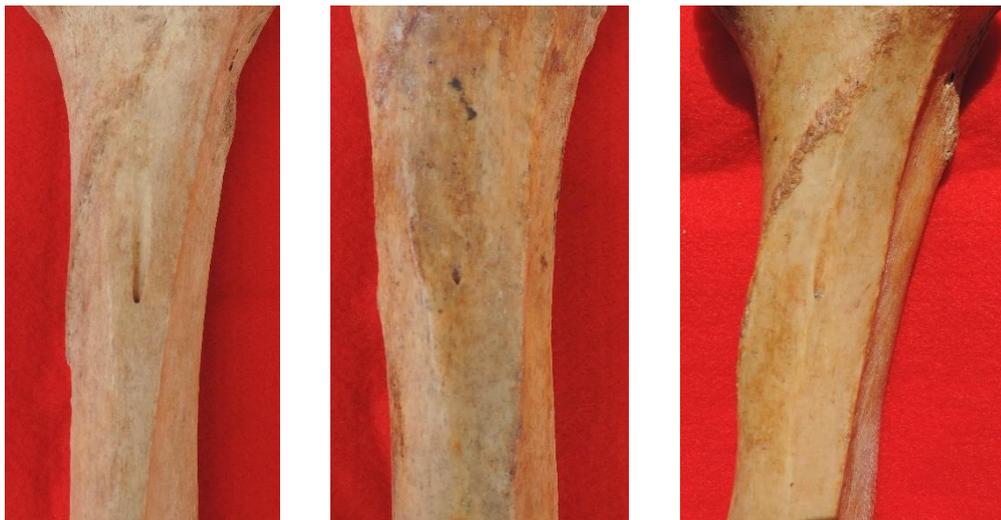
El tratamiento de las fracturas de referencia es un tema aún muy controvertido, especialmente en la modalidad quirúrgica a utilizar. La precaria vascularización y la escasa cantidad de tejidos blandos que cubren la diáfisis tibial convierten a éste hueso vulnerable exponiéndolo a posibles infecciones y pseudoartrosis.²³

La fijación intramedular mediante clavos acerrojados es el tratamiento quirúrgico de elección por la mayoría de los autores, las ventajas de este método radican en la

mayor conservación posible de las partes blandas adosadas en el fragmento intermedio de la fractura sin exponer el hematoma ni el foco fracturario al exterior, mediante esta modalidad se pueden corregir rotaciones y angulaciones de dicho fragmento, disminuyendo la dificultad de consolidación ósea. Para la correcta colocación del clavo intramedular es necesaria la distracción tibial.^{24,25,26}

En el caso de realizar fijación externa, la conversión a intramedular se debe realizar antes de los 28 días, ya que la posibilidad de infección en el trayecto de los pines se incrementa en un 83% pasado este tiempo, el ideal es de siete a diez días.^{27,28,29,30}

El foramen o agujero nutricio de este hueso (Figuras 6, 7 y 8), es un accidente anatómico de vital importancia en este trabajo, porque es la puerta de entrada que tiene la tibia para su irrigación, se encuentra por debajo de la línea del sóleo, y presenta una dirección oblicua de arriba hacia abajo.^{2,5}



Figuras 6, 7 y 8: Agujero Nutricio de 3 tibias. Cátedra Anatomía Normal F.C.M. U.N.C.

RESEÑA HISTÓRICA

La anatomía (del latín anatomía y del griego *anatomé*) que quiere decir corte, disección. Es la ciencia que estudia la forma (morfología) y estructura del hombre y de los animales por medio de ciertos mecanismos guiados hacia la investigación.

La Anatomía pretende entender por completo la forma y constitución del hombre desde el principio de su existencia, incluyendo un criterio dinámico que considera a las formas como integrantes de un ser vivo en el cual desempeñan una función.³¹ El desarrollo de la Anatomía se puede decir que comienza casi con el principio de la Humanidad, aunque en un inicio está repleta de ideas poco científicas influenciadas por aspectos religiosos y socioculturales. Existen evidencias escritas de ciertos conocimientos anatómicos por parte de los egipcios, así en los papiros de Edwin Smith (1600 a.C.) y de Ebert (1550 a.C.) se describen luxaciones y fracturas además de tumores, infecciones de las heridas, paraplejias y enfermedades del aparato digestivo y genital femenino.^{32,33,34}

Otro documento histórico ilustre de donde se deduce la existencia de conocimientos específicos de la Anatomía humana en la antigua civilización Mesopotámica es el código de Hammurabi (1700 a.C.), donde de hecho se detallan ciertas intervenciones describiendo el manejo del cuchillo de bronce, lancetas y bisturí, además de los honorarios a recibir por quienes las practican en función del La Anatomía como Ciencia.^{35,36}

En la India Charaka Samhita³⁷, el registro de escritura más antiguo de medicina interna, creado por Charaka, conocido como el padre de la Medicina en India o Ayurveda y de la Cirugía Reconstructiva, realizó las exploraciones anatómicas topográficas en cadáveres humanos sobre todas las estructuras, fue el primero en descubrir el aparato circulatorio, alrededor del siglo 3 aC. Estableció un método sobre prevención de la salud, funcional hasta la actualidad, por lo que es también considerado a nivel mundial como el padre de la Medicina Preventiva, la Cirugía Plástica y la Medicina Interna, además, confecciono más de 113 instrumentos quirúrgicos, que hasta la actualidad algunos de sus diseños siguen siendo empleados en la práctica quirúrgica.

En la edad antigua, las disecciones de la Escuela de Alejandría, donde destacó Erasístrato³⁸ que basaban el conocimiento anatómico aceptado por Galeno en la Roma clásica, su aporte a la medicina fue de índole diferente a la doctrina humoral hipocrática.

En la edad Moderna, la Medicina galénica comienza a ser cuestionada desde la Anatomía. Tras una serie de descubrimientos por parte de los llamados anatomistas

prevesalianos, Andrea Vesalio, considerado como el padre de la Anatomía moderna³⁹, dedicándose a la disección de cadáveres para la obtención de conocimiento anatómico y fruto de este trabajo surge su obra maestra “*De humani corporis fabrica*”⁴⁰ editada en 1543.

Con el desarrollo de la Anatomía Topográfica la ciencia anatómica alcanza su total madurez y se completa prácticamente la descripción de la forma del cuerpo humano alcanzando su plenitud en textos como los de Jean Leó Testut (1849-1925). Fue un profesor investigador de la anatomía en la Facultad de Medicina de Burdeos y en la Universidad de Lile y Lyon, Testut publica espléndidos textos de Anatomía tales como “*Traité d’Anatomie Humaine*” en colaboración con L. Latarget (1889-1892 primera edición) o “*Traité d’Anatomie Topographique*” en colaboración con O. Jacob (1905).

RESEÑA DEL DESARROLLO EMBRIOLÓGICO

Después de los pasos evolutivos del cigoto humano, recibe el nombre de mórula y sus metámeras se ordenan en forma de rosario alrededor del huevo. Posteriormente se constituyen los anillos o capas celulares que constituyen el embrión, el primer anillo o capa celular se denomina ectodermo, el segundo endodermo y el tercero mesodermo (Figura 9).⁴¹

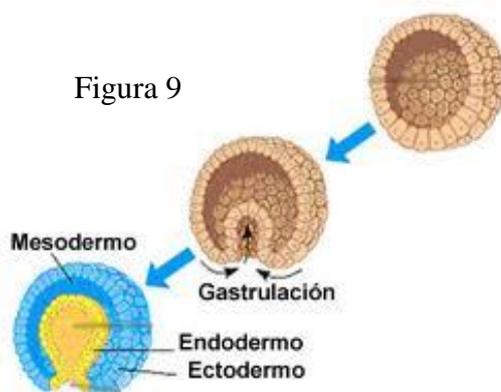


Figura 9

De estas tres capas embrionarias se van a derivar todos los elementos que constituirán el futuro ser humano

De la capa ectodérmica, se originará la piel, los centros nerviosos, etc., de la endodérmica el tubo digestivo y sus glándulas, el aparato respiratorio, etc., y de la mesodérmica, los tejidos cartilagosos, óseo, muscular y el vascular y conjuntivo.^{41,42,43}

La primera evidencia de proliferación osteoblástica se observa al final del segundo mes embrionario, edad en que el embrión tiene una longitud de 26 a 30

mm. Esta posterior diferenciación del mesénquima se lleva a cabo inicialmente en la parte inferior del tercio medio de la diáfisis de los huesos largos (Figura 10).^{44,45}

Para explicar el desarrollo vascular de la tibia en esta etapa, podemos conceptualizar que la etapa osteoblástica^{46,47,48}, va entrañablemente ligada al flujo de los vasos sanguíneos y de los elementos nerviosos al hueso. La tibia en esta etapa se encuentra nutrida por un vaso que llega por el canal nutricio, y por vasos que llegan del periostio (figura 11)⁴⁹. Conforme adelanta el desarrollo, el proceso osteoblástico va aumentando excéntricamente, de tal manera que, al nacimiento del niño, la osificación ya ha tornado toda la diáfisis. Las porciones terminales o epífisis se osifican, la superior al noveno mes de la vida fetal o en la primera semana del nacimiento y la inferior al segundo año de nacer aproximadamente.

El núcleo de osificación inferior se une al diafisario aprox. a la edad de 16 a 17 años, y el superior a los 18 a 20 años.

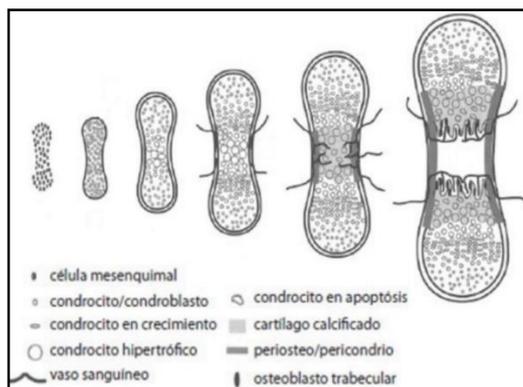


Figura 10

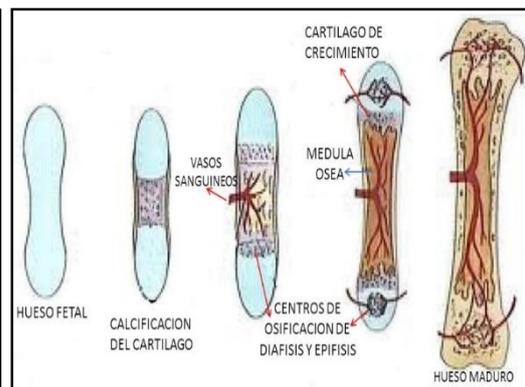


Figura 11

BIO-HISTOLOGÍA^{37,38,45}

El tejido óseo es una variedad de tejido conjuntivo que se caracteriza por su rigidez y su gran resistencia tanto a la tracción como a la compresión.

Está formado por la matriz ósea, que es un material intercelular calcificado y por células, que pueden corresponder a:

- **Osteoblastos** que son los encargados de sintetizar y secretar la parte orgánica de la matriz ósea durante su formación. Se ubican siempre

en la superficie del tejido óseo ya que este sólo puede crecer por aposición.

- **Osteocitos**, son los responsables del mantenimiento de la matriz ósea, se ubican en cavidades o lagunas rodeadas por el material intercelular calcificado. La nutrición de los osteocitos depende de canalículos que penetran la matriz ósea y se conectan a los osteocitos vecinos entre sí con canales vasculares que penetran al hueso o que se ubican en las membranas conjuntivas que revisten la superficie del hueso (periostio y endostio). Ningún osteocito se encuentra a más de una fracción de mm de un capilar sanguíneo.
- **Osteoclastos**, son células responsables de la reabsorción del tejido óseo, participan en los procesos de remodelación de los huesos y pueden encontrarse en depresiones superficiales de la matriz ósea llamadas lagunas de Howship⁷. (Figura 12)

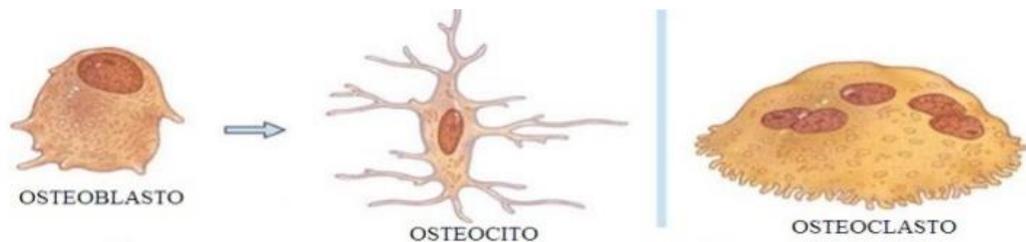


Figura 12: ilustraciones de osteoblasto, osteocito, osteoclasto.

La matriz intercelular ósea está formada por la matriz orgánica u osteoide que corresponde al 50% del peso seco del hueso, más del 90% de ella corresponde a fibrillas de colágeno I. El resto de los componentes orgánicos son principalmente glicoproteínas como la osteonectina, proteínas ricas en ácido g-carboxiglutámico como la osteocalcina, y proteoglicanos de condroitín y queratán-sulfato que son moléculas ricas en grupos ácidos con gran tendencia a asociarse entre sí, capaces de unirse al calcio y que juegan un rol importante en el proceso de mineralización de la matriz ósea.

En el osteoide se depositan sales minerales inorgánicas, que confieren al tejido su rigidez y dureza y actúan como una reserva de sales minerales, sensible a

estímulos endócrinos. Las más abundantes son el fosfato de calcio amorfo y cristales de hidróxidos de calcio y de fosfato llamados hidroxiapatita.

Organización histológica de los huesos^{37,38}

En un hueso ya formado, la disposición de los componentes del tejido óseo en cada zona de él está en estricta relación con las fuerzas de tracción y compresión a que esa zona está sometida habitualmente.

Sin embargo, el tejido óseo que se forma primero en el feto y luego en los huesos en desarrollo, no se dispone de acuerdo a estos requerimientos mecánicos, sino que constituye un tejido óseo de base llamado hueso primario o reticular "entrelazado" que posteriormente será reemplazado por el hueso secundario o laminillar.

La principal diferencia entre el hueso reticular y el laminillar, radica en la disposición de las fibrillas de colágeno I, las cuales en el hueso primario se disponen en forma de manojos dispuestos en forma irregular.

De acuerdo al aspecto macroscópico que presentan se distinguen dos tipos de huesos, el hueso cortical formado por tejido óseo compacto y el hueso esponjoso en el cual el tejido óseo se dispone en trabéculas que delimitan cavidades, en las que se ubica normalmente la médula ósea.

En las superficies articulares, la capa cortical de hueso compacto, está cubierta por una capa de cartílago hialino, el cartílago articular, mientras que el resto de la superficie del hueso están cubiertas por membranas de tejido conjuntivo que forman el periostio y el endostio, en los que existen abundantes vasos sanguíneos que se adosan ya sea a las trabéculas del hueso esponjoso o que penetren en el hueso cortical compacto a través de los conductos de Volkman y de Havers.

IRRIGACIÓN

La vascularización de la tibia esta provista por dos sistemas de circulación principales, la circulación endóstica (figura 13A)⁵⁰ y la perióstica (figura 13B)⁴⁵. La circulación endóstica es la responsable de la nutrición de gran parte del espesor del hueso, ingresa a la tibia a través de su arteria nutricia en la unión del tercio proximal con el tercio medio de la diáfisis, ésta arteria es una rama colateral del

tronco tibioperoneo y al ingresar se ramifica en ramas ascendentes y una rama descendente. La arteria tibial posterior también da ramas epifisarias y metafisarias.

El periostio³ (peri: alrededor – osteo: hueso) es una membrana fibroelástica que rodea la superficie externa del hueso, con exclusión de las partes revestidas por cartílago articular y lugares en los que se insertan tendones y ligamentos.

Posee una capa externa fibrosa de tejido conectivo muy vascularizada y una interna ontogénica con osteoblastos que permiten la reparación y crecimiento del hueso.

La circulación se lleva a cabo, bajo condiciones normales, de manera “centrífuga”, es decir desde el canal medular hacia la corteza del hueso⁸.

En el caso de una fractura de la tibia o de una lesión de su circulación endóstica, se invierte el flujo sanguíneo llevándose a cabo de manera “centrípeta”, es decir desde el periostio hacia el canal medular, cobrando gran importancia en la nutrición del hueso la circulación perióstica y la cobertura muscular que lo rodea. De lo dicho se deriva el gran interés quirúrgico que tiene el preservar la envoltura de los tejidos blandos con el periostio en los traumas tibiales, de allí es que se estén dejando de lado algunas técnicas de fijación interna que requieren gran desperiostización de la tibia como por ejemplo las placas, reservándose su utilización únicamente para casos seleccionados^{46,51}.

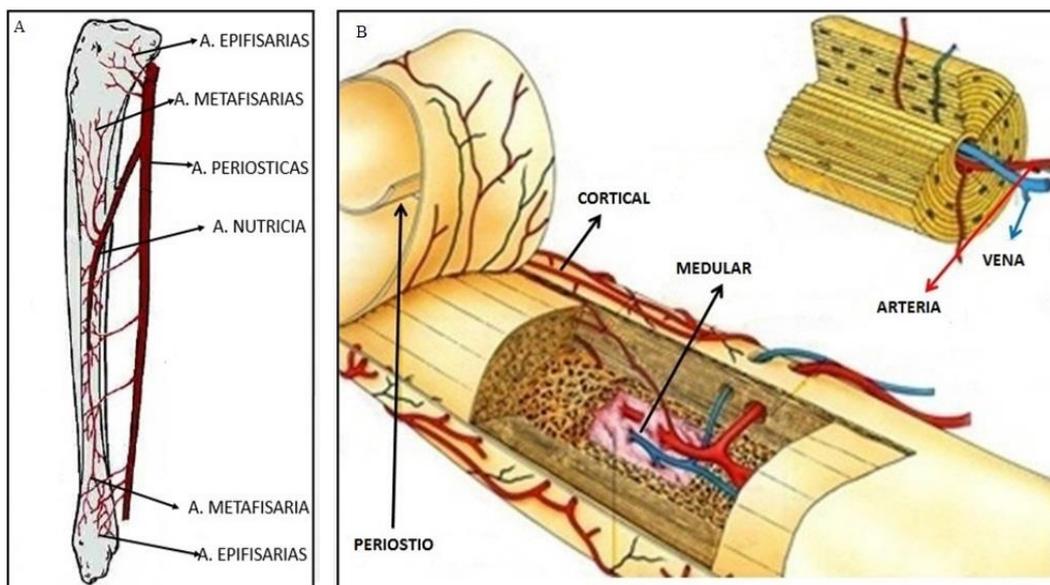


Figura 13: A y B: Irrigación ósea. A: Tibia vista perfil, Irrigación endóstica. B: Circulación perióstica y vista de la medular.

En la actualidad las fracturas de tibia son las más frecuentes de los huesos largos y corresponden al dos por ciento (2%) del total de las fracturas del organismo, esto es debido al gran aumento de las urbanizaciones, automotores, motocicletas, bicicletas, peatones, actividad industrial, de la construcción, deportes, recreación etc. y a las características de poca protección de este hueso debido que, además de soportar una gran carga tiene una extensa área desprovista de musculatura, principalmente en su cara cutánea o medial, cara que está directamente relacionada en las lesiones traumáticas de este hueso.

El segmento diafisario de la tibia es el más afectado en estas fracturas y la irrigación que se interrumpe según la violencia del traumatismo está estrechamente relacionada con las lesiones arteriales, el hematoma, el tratamiento y la consolidación de éstas.

El sesenta por ciento (60%) de las fracturas se presentan en personas comprendidas entre los 20 y 49 años de edad y en relación cuatro a uno de varones sobre mujeres.

La anatomía y la irrigación de la diáfisis tibial difieren notablemente antes y después de un traumatismo con fractura, de acuerdo a su complejidad se clasifican en A, B, y C con sus subgrupos correspondientes en forma creciente de acuerdo a la severidad de la fractura^{2,46}.

Consolidación

Es un proceso de regeneración gradual y continuo por el cual la solidez y resistencia de un tejido óseo es restaurado. El hueso es un órgano único por su capacidad de reparar una lesión (fractura) que afecta todo su espesor mediante una regeneración completa y no mediante producción de tejido cicatrizal. Los procesos que ocurren en la reparación ósea de una fractura son los responsables del desbridamiento, y finalmente de la remodelación del lugar de la fractura. La reparación puede ser primaria en presencia de fijación rígida o secundaria en ausencia de ésta. **La consolidación ósea primaria:** ocurre cuando existe un contacto directo e íntimo entre los fragmentos de la fractura. El hueso nuevo se forma directamente de los

bordes óseos comprimidos para consolidar la fractura. La reparación ósea cortical es muy lenta y no puede acercar los bordes de la fractura. Con este tipo de reparación, no hay evidencia radiográfica de callo óseo. Se trata del único método de reparación cuando hay una fijación con compresión rígida de la fractura. Esta fijación rígida requiere de un contacto directo de la cortical y de una **vascularización intramedular intacta**. El hueso necrótico es recanalizado por nuevos sistemas de Havers con osteomas maduras, como ocurre en la remodelación normal del hueso. También crece hueso nuevo a partir del endostio para unir los extremos óseos. La consolidación primaria del hueso cortical no puede establecer, de una manera efectiva, un puente óseo en el foco de fractura, a diferencia de la formación del callo, que incluye primero un puente de callo externo y luego un callo medular. Para que la consolidación primaria tenga lugar, son necesarias la reducción perfecta y la compresión de la fractura. Además, el movimiento en el foco de la fractura debe ser mínimo. La consolidación primaria del hueso requiere una inmovilización rígida para permitir a los frágiles vasos medulares recanalizar el hueso necrótico y atravesar la fractura.

Los principales inconvenientes de la consolidación primaria son, su lentitud en comparación con la formación del callo y la necesidad de estabilizar artificialmente la fractura mediante una fijación interna rígida que mantenerse durante un largo periodo de tiempo.

La consolidación ósea secundaria: consiste en la mineralización y el reemplazamiento óseo de una matriz cartilaginosa con la formación de un callo óseo característico en la radiografía. Cuanta más movilidad tenga el foco de fractura, mayor será la cantidad de callo de fractura. Este callo forma un puente externo que estabiliza el foco de fractura al incrementar el grosor óseo, esto sucede en el tratamiento de la fractura mediante inmovilización con férula o yeso, en la fijación externa, así como en el **enclavado intramedular**, es el tipo más frecuente de reparación ósea.

Las **tres** fases principales de la consolidación ósea descrita por Cruess y Dumont son:

1. Fase inflamatoria
2. Fase de reparación
3. Fase de remodelación

Estas fases se superponen, y los acontecimientos que ocurren principalmente en una fase pueden haber comenzado en la fase previa.

La duración de cada estadio varía según la localización y severidad de la fractura, traumatismos asociados y la edad del paciente.

La **fase inflamatoria** dura aproximadamente entre una y dos semanas. Inicialmente, una fractura produce una reacción inflamatoria. El incremento de la vascularización que acompaña a la fractura provoca la formación de un hematoma, que pronto será invadido por células inflamatorias, incluyendo neutrófilos, macrófagos y fagocitos. Estas células, incluyendo los osteoclastos, limpian el tejido necrótico y preparan el terreno para la fase de reparación. Radiográficamente la línea de fractura es más visible cuando se ha retirado el material necrótico.

La **fase de reparación** dura varios meses. Esta fase se caracteriza por la diferenciación de células mesenquimales pluripotenciales. El hematoma de la fractura es invadido por condroblastos y fibroblastos, que forman la matriz del callo. Inicialmente, se forma un callo blando, compuesto principalmente por tejido fibroso y cartilaginoso con pequeñas cantidades de hueso. Los osteoblastos son entonces los responsables de la mineralización de este callo blando, convirtiéndolo en un callo duro de tejido esponjoso e incrementando la estabilidad de la fractura. Este tipo de hueso es inmaduro y frágil a la torsión, por lo que no puede ser sometido a estrés. Los retrasos de consolidación y la ausencia de consolidación son el resultado de los trastornos en esta fase. El final de la fase de reparación viene determinado por la estabilidad de la fractura, Radiográficamente la línea de fractura comienza a desaparecer.

La **fase de remodelación**, que requiere de meses hasta años para completarse, consiste en una actividad osteoblástica y osteoclástica que provoca el reemplazamiento de un hueso esponjoso inmaduro y desorganizado, por un hueso laminar organizado que añade más estabilidad al foco de fractura. Con el tiempo el canal medular se reforma gradualmente. Hay una resorción ósea de las superficies convexas y una neoformación en las superficies cóncavas. Este proceso permite la corrección de deformidades angulares, pero **no** de las rotacionales. Radiográficamente ya no se ve la fractura.

El endostio proporciona aproximadamente dos tercios del aporte sanguíneo del hueso; el resto procede del periostio. Por eso no sorprende que las fracturas abiertas o muy conminutas con daño perióstico importante tengan dificultades en su consolidación.

Alteraciones de la consolidación

Son dos los estados que pueden entorpecer la evolución del proceso reparativo de una fractura: el retardo de la consolidación y la pseudoartrosis, que son dos procesos diferentes, tanto en su fisiopatología, evolución, pronóstico y tratamiento.

Retardo de la consolidación

Corresponde a un proceso de osteogénesis reparativa normal en cada una de sus diferentes etapas evolutivas, pero en el cual la velocidad con que estas etapas se van sucediendo, es más lenta que lo normal.

Existen factores que disminuyen la velocidad del proceso, pero éste prosigue su marcha hacia la consolidación en forma normal; de tal modo que, si se permite su evolución natural, si no concurren circunstancias especialmente entorpecedoras del proceso fisiopatológico reparativo, la consolidación llegará a establecerse en forma definitiva y normal. Es por ello que el retraso en el desarrollo del proceso de consolidación, de ninguna manera debe ser considerado como un fracaso biológico; el considerarlo así, en forma precipitada, puede llevar a adoptar conductas terapéuticas agresivas. Que el retardo de consolidación sea un proceso fisiopatológico en marcha hacia un fin normal, como es el callo óseo, y el que la

pseudoartrosis sea en cambio un proceso terminal, cual es la cicatriz fibrosa definitiva e irreversible, determina un pronóstico y un tratamiento totalmente diferentes.

Causas de retardo de consolidación

La lista de factores que pueden ser responsables de una consolidación retardada es larga; algunos de ellos son inherentes al enfermo, otros a la fractura misma y otros al manejo médico del enfermo:

- Inmovilización inadecuada: yesos cortos: por ejemplo: antebraquio palmar para fractura del 1/3 distal del cúbito (no impide el movimiento de pronosupinación), yeso suelto, etc.
- Inmovilización interrumpida por cambios repetidos de yesos, a menudo innecesarios.
- Infección del foco de fractura: fracturas expuestas (accidentales o quirúrgicas).
- Importante pérdida de sustancia ósea.
- Irrigación sanguínea insuficiente fractura del 1/3 inferior de la tibia.
- Tracción continua excesiva y prolongada.
- Edad avanzada.
- Intervenciones quirúrgicas sobre el foco de fractura (desperiostización y osteosíntesis).
- Cuerpos extraños en el foco de fractura (placas, tornillos, alambres, secuestros, etc.).

De todas estas circunstancias, sólo la inmovilización inadecuada e interrumpida, quizás sea la única que, por sí sola, es capaz de generar una pseudoartrosis; las demás, de existir, sólo lograrán alterar la velocidad del proceso osteogénico de

reparación ósea (retardo de consolidación); pero si pese a todo, se persiste en la inmovilización ininterrumpida y perfecta por el tiempo que sea necesario, la consolidación se realizará en forma correcta, a pesar de que persistan algunas de las causas señaladas.

Por el contrario, si en estas circunstancias, en que el foco de fractura está evolucionando con un retardo de consolidación, hay abandono de la inmovilización (retiro precoz del yeso, por ejemplo) o ésta se mantiene en forma deficiente (yeso quebrado) o poco continente, o se interrumpe una y otra vez (cambios de yesos), etc., el proceso de reparación se detiene, el tejido osteoide de neo-formación involuciona a tejido fibroso y el proceso desembocará con seguridad en una pseudoartrosis.

Síntomas del retardo de la consolidación

- Dolor en el foco de fractura al apoyar o mover el segmento óseo.
- Movilidad anormal y dolorosa en el foco de fractura.
- En fracturas de los miembros inferiores (de carga), sensación de falta de seguridad en el apoyo; el enfermo lo expresa diciendo que tiene la sensación de "ir pisando sobre algodón".
- Radiológicamente se ven: descalcificación de los extremos óseos, el canal medular (opérculo) no está cerrado, el contorno de los extremos óseos permanece descalcificado (no hay fibrosis marginal) y se suelen encontrar sombras de calcificaciones en partes blandas en torno al foco de fractura (callo óseo incipiente).

El tiempo de evolución no es un índice seguro para catalogar la evolución del proceso de consolidación; puede que hayan transcurrido dos o más meses (fracturas de tibia o escafoides carpiano, por ejemplo), pero el proceso de consolidación existe

y llegará a formar un callo óseo después de uno o varios meses si la inmovilización se mantiene.

TRATAMIENTO

Identificado el proceso como de un retardo de consolidación, corresponde corregir la causa que esté provocando y manteniendo la complicación:

- a. Corregir la inmovilización inadecuada: yeso corto, incontinente o quebrado, etc.
- b. Tratar posibles procesos infecciosos.
- c. Corregir el estado nutritivo.
- d. Estimular la actividad funcional de la extremidad hasta donde ello sea posible.
- e. Retirar cuerpos extraños (secuestros).
- f. Asegurar una inmovilización completa e ininterrumpida hasta que el proceso haya quedado terminado.

PSEUDOARTROSIS

Es la falta de consolidación definitiva de una fractura. El fenómeno que aquí se produce es enteramente distinto; se trata de un proceso francamente patológico y corresponde a la formación de una cicatriz definitiva del foco de fractura, por medio de un tejido fibroso no osificado; el proceso es irreversible y definitivo. El tejido cicatrizal, fibroblástico en sí mismo, es normal y constituye una excelente cicatriz fibrosa; lo anormal está en que en el proceso mismo no hubo integración osteoblástica que le confiriera al tejido cicatricial fibroso, la solidez propia del tejido óseo, indispensable para cumplir con su función específica.

Causas de pseudoartrosis:

- Falta de inmovilización perfecta e ininterrumpida.
- Separación excesiva de los fragmentos óseos.
- Interposición de partes blandas (masas musculares).
- Insuficiente vascularización de los segmentos óseos comprometidos.
- Fractura de hueso patológico.

Síntomas de la pseudoartrosis (Derivan del estado fisiopatológico del proceso)

- Foco de fractura indoloro o con poco dolor.
- Movilidad anormal en el foco de fractura, indolora.
- Falta de seguridad y estabilidad en la posición de apoyo.

Tipos de Pseudoartrosis:

- Atrófica: falta condiciones biológicas para la formación del callo óseo.
- Hipertrófica: falta de fijación adecuada de la fractura.

Tratamiento de la pseudoartrosis

Constituido el diagnóstico, el tratamiento es quirúrgico y va dirigido esencialmente a la resección de la cicatriz fibrosa, reavivar los extremos óseos, abrir el canal medular y con frecuencia se colocan injertos óseos extraídos de la cresta ilíaca (de alto poder osteogénico) en la atrófica y fijación adecuada en la hipertrófica.

JUSTIFICACIÓN

Esta investigación pretende establecer reparos anatómicos, recorridos, relaciones, comparaciones, diferencias macroscópicas, características óseas e irrigación diafisaria de la tibia, tratando de esta manera de aportar pautas significativas para el tratamiento de sus fracturas, que en la actualidad lamentablemente son responsables de incapacidades físicas posibles de evitar.

Pretende también, estudiar tratamientos protocolizados de acuerdo a las lesiones vasculares y áreas anatómicas para ampliar conocimientos y poder así clasificar variantes, abriendo de ésta manera puertas posibles para nuevos abordajes en los tratamientos.

OBJETIVOS

GENERAL

- Estudiar y describir anatómicamente la diáfisis tibial y su irrigación.

ESPECÍFICOS

- Identificar macroscópicamente la arteria nutricia de la tibia y su entrada ósea en las disecciones anatómicas.
- Determinar el origen de la arteria nutricia tibial en angiografías digitales de miembros inferiores.
- Establecer sitio de fractura y el tiempo de consolidación en pacientes operados con la técnica propuesta.
- Conocer y clasificar variantes anatómicas de la arteria nutricia.
- Aportar conocimientos para el tratamiento efectivo de las fracturas de la diáfisis tibial.

MATERIAL Y MÉTODOS

1. DISEÑO DEL ESTUDIO

Descriptivo observacional, transversal y prospectivo.

2. UNIVERSO Y MUESTRA

El universo muestra comprendió el estudio de sesenta (60) tibias en tres grupos (figura 14):

- Grupo A: diez (10) especímenes cadavéricos humanos adultos, veinte (20) tibias.
- Grupo B: veinte (20) casos de pacientes adultos jóvenes seleccionados sin factores de riesgo con fracturas de diáfisis tibial cerradas sin comorbilidades unilaterales.
- Grupo C: veinte (20) casos de pacientes seleccionados analizados con estudio hemodinámico (arteriografía) del Servicio de Cirugía Vascular.

El período de reclutamiento de casos para el grupo B fue comprendido entre el 01 de agosto de 2014 y el 31 de marzo de 2016, que concurrieron a los Servicios de Traumatología y Ortopedia del Hospital Italiano de Córdoba y del Hospital Escuela Nacional de Clínicas de Córdoba.

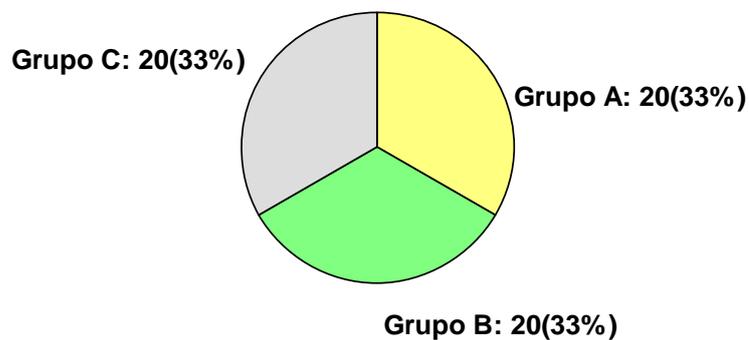


Figura 14: distribución de casos según grupos de análisis. Los valores se representan en frecuencias y porcentajes. (n=60)

3. VARIABLES DE ESTUDIO

Sexo, edad, tipo de fractura, longitud tibial, distancia al agujero nutricio.

Criterios de inclusión:

- Ambos sexos.
- Mayores de 21 años.
- Consentimiento informado.
- Seguimiento clínico-radiográfico de la fractura ≥ 12 meses.

Criterios de exclusión:

- Tumores.
- Enfermedades metabólicas (Diabetes mellitus, infecciones, inmunodeprimidos).
- Patología vascular del miembro inferior.
- Negativa a participar.
- Fracturas expuestas.
- Conversiones.

4. EXÁMENES O ANÁLISIS

DISECCIONES CADAVÉRICAS

Las disecciones cadavéricas fueron realizadas por el tesista en la Cátedra de Anatomía Normal de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Córdoba.

Se procesaron diez (10) especímenes cadavéricos humanos adultos y se estudiaron veinte (20) tibias de ambos sexos de edades que oscilan entre los 50 años y 81 años de edad y que previamente fueron fijados con formol al 10%.

Las disecciones musculares y de la arteria nutricia de la tibia, se realizaron con instrumental específico microquirúrgico para asegurar la visualización de la irrigación de la diáfisis tibial en forma metódica y protocolizada en la sala de disección.

La documentación iconográfica se constató con cámara digital de alta definición para adquirir imágenes en cada paso del proceso y en distintas vistas de los preparados anatómicos.

TÉCNICA DE DISECCIÓN

MATERIAL:

1. Guantes y cubrebocas.
2. Instrumental de Corte: Mango de Bisturí No. 4. Hojas adaptables para el mango (No. 19 al 25). Tijeras Rectas.
3. Instrumental de Separación: Pinzas de disección con dientes y sin dientes.
4. Instrumental de Sutura: Portaagujas; Aguja curva automática y cortante de 3-5 cm; hilo para sutura: De preferencia seda. Pinzas (ya señaladas).
5. Cadáveres preservados en formol.

PROCEDIMIENTO

Con el cadáver en decúbito ventral se procede a trazar las siguientes incisiones en la región posterior de la pierna:

1. La primera, transcurre a cuatro traveses de dedo por arriba de los cóndilos femorales por su parte posterior.
2. La siguiente, a nivel del borde superior de la cabeza del calcáneo que se extienda del maléolo externo al maléolo interno
3. La tercera y última, une a ambas 1 y 2 en su porción media.

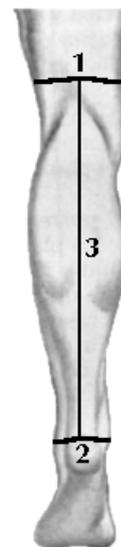


Figura 15: Líneas de apertura de tejidos (piel y celular subcutáneo)⁵².

4. Una vez realizado lo anterior se procedió a quitar la piel y el tejido celular subcutáneo; localizando la aponeurosis superficial (gastrocnémica), debajo de ella se percibe por transparencia la vena safena externa, que a nivel de la línea interarticular se acoda hacia adelante para desembocar en la vena poplítea; se incidió esta aponeurosis en la región del hueco poplíteo, en esta región se encuentra gran cantidad de grasa la cual sirve como protección a las estructuras que allí se alojan o pasan. Repaso las inserciones de los músculos que forman las paredes del hueco poplíteo. El hueco poplíteo contiene la porción terminal de la vena safena externa, los vasos poplíteos (arteria y vena, con sus ramas), los nervios ciático-poplíteo interno y externo y los ganglios linfáticos pertenecientes a dicha región. Una vez realizado lo anterior se puso atención a nivel de la parte posterior de la pierna, en la cual localiza la vena safena externa que corre medialmente y la vena safena interna que corre por la parte interna de dicha región.

5. A la vena safena externa le sigo su recorrido hasta el hueco poplíteo en donde se anastomosa con la vena poplítea (que se acompaña del nervio del mismo nombre), se la seccionó y reclino en su parte media. Reseco la aponeurosis gastrocnémica, localizo los músculos gastrocnémicos (gemelos) y se los seccionó cerca de sus inserciones condilares del fémur, reclinándolos hacia abajo con el fin de dejar al descubierto al músculo sóleo, el cual cubre los dos tercios inferiores de la pierna.

Entre las dos inserciones superiores del sóleo se forma un conjunto de fascículos carnosos que terminan en la aponeurosis del músculo poplíteo conformando un arco completando un anillo hacia adelante con el ligamento interóseo, este anillo se conoce como el anillo del sóleo, por el que cruzan de afuera adentro la vena satélite de la arteria poplítea, segunda vena satélite y el nervio ciático poplíteo interno.

Por el borde interno del sóleo se localiza el músculo plantar delgado y por su parte interna corre la arteria tibial posterior acompañada de dos venas, se siguió el recorrido de esta arteria hacia arriba para objetivar el lugar en donde la arteria poplítea se bifurca para formar la arteria tibial anterior y la arteria tibial posterior (que en la parte proximal se denomina tronco

tibioperoneo). La arteria peronea que pasa por la parte interna del músculo sóleo y que también se acompaña de dos venas, es una rama de la arteria tibial posterior. Por último, en la parte interna del sóleo se puede localizar el nervio tibial posterior.

6. Una vez identificado todas las estructuras anteriores se secciona en su porción superior a los músculos sóleo y plantar delgado, reclinándolos hacia abajo y observo cómo éstos músculos y los gemelos forman el "Tendón de Aquiles", aclarando que el plantar delgado puede también o no formar parte del mismo.
7. Se procede a ver el plano profundo que en orden de proximal a distal se encuentran a los músculos: poplíteo y flexor común largo de los dedos por la región interna al tibial posterior y por debajo de éste al flexor largo del dedo grueso por la región media y lateralmente a los músculos peroneo lateral largo y peroneo lateral corto.
8. Continuando la disección de la arteria tibial posterior, su porción proximal el tronco tibioperoneo continúa el trayecto y la dirección de la arteria poplíteo. La arteria tibial posterior se origina por debajo del arco tendinoso del sóleo, y es una de las dos ramas de bifurcación de la arteria poplíteo. Se encuentra aplicada al músculo tibial posterior. Está cubierta por detrás por todo el espesor del gemelo y del sóleo, transcurre en sentido vertical según el eje de la pierna y antes de dar a la arteria peronea, recorre una longitud variable de 1 cm a 8 cm. Está acompañada por dos venas, y no una sola vena como la arteria poplíteo, y por el nervio tibial situado detrás de ella, da algunas colaterales entre las cuales están la arteria superior del sóleo y la arteria nutricia de la tibia, en algunas ocasiones, que penetra en el foramen nutricional.

ESTUDIO COMPARATIVO Y ANÁLISIS DE ANGIOGRAFÍAS

Se analizaron angiografías digitales del Servicio de Hemodinamia e Intervencionista del Hospital Italiano de Córdoba, supervisados por su Jefe de Servicio, evaluando y analizando arteriografías del árbol arterial de la pierna ubicando la arteria nutricia, la irrigación tibial para ser comparadas y

correlacionadas con las disecciones cadavéricas de la irrigación tibial, para dichos estudios se utilizó un angiógrafo SHIMADZU HD 150G con cámara SONY XC-HR58 con y sin sustracción ósea y grabación en pacientes del Servicio de Cirugía Vasculat con miembro contralateral sano.

Técnica

Paciente en decúbito supino, sus brazos por encima de la cabeza, debe colocarse con los pies ligeramente rotados hacia dentro del *gantry*, se lo canaliza con el *yelco*, para realizar un barrido antes de inyectar el medio de contraste a la altura de la apófisis xifoidea que contenga la porción proximal de la aorta hasta cubrir por completo los pies, se prepara el inyector de dos cabezales con medio de contraste y agua inyectable para pasársela en bolo; para medir que la vena tolere la presión de ésta se programa el *smart prep*® a nivel de la aorta ascendente para localizar el paso del medio de contraste, cuando el medio de contraste esté sobre la aorta ascendente aproximadamente 30 segundos después de aplicarlo, se vuelve a pasar contraste y se realiza el barrido final para apreciar todas las arterias de los miembros inferiores.

ANGIOGRAFÍAS DIGITALES (EJEMPLOS)



Figura 16. Angiografía de pierna. Referencias: 1: arteria poplítea. 2: tronco arteria tibioperoneo. 3: arterial tibial posterior. 4: arteria peronea. 5: arteria nutricia de la tibia dependiente del tronco tibioperoneo.

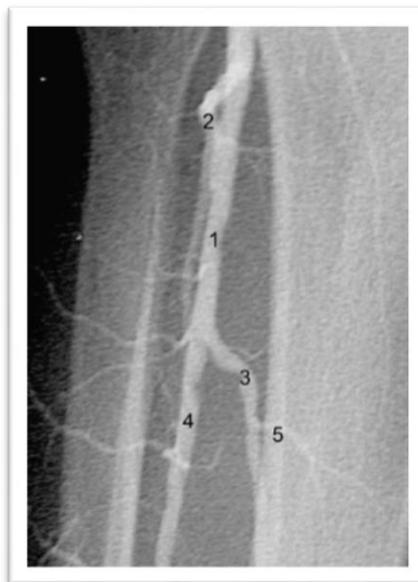


Figura 17 (derecha). Angiografía de pierna. Referencias: 1: tronco arterial tibioperoneo. 2: arteria tibial anterior. 3: arteria tibial posterior. 4: arteria peronea. 5: arteria nutricia de la tibia dependiente de la arteria tibial posterior.

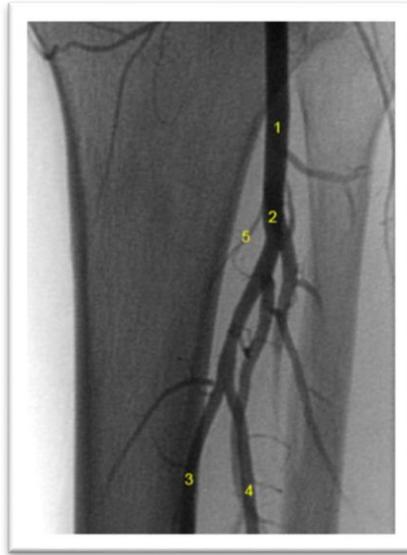


Figura 18 (izquierda). Angiografía de pierna. Referencias: 1: arteria poplítea. 2: tronco arteria tibioperoneo. 3: arterial tibial posterior. 4: arteria peronea. 5: arteria nutricia de la tibia dependiente del tronco tibioperoneo.

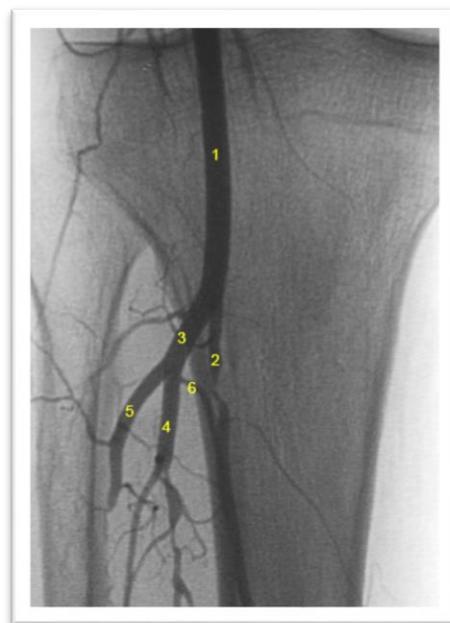


Figura 19 (derecha). Angiografía de pierna. Referencias: 1: arteria poplítea. 2: arteria tibial anterior. 3: tronco arterial tibioperoneo. 4: arteria tibial posterior. 5: arteria peronea. 6: arteria nutricia de la tibia dependiente del tronco tibioperoneo.

TRATAMIENTOS QUIRÚRGICOS

Se reunieron veinte (20) casos de pacientes adultos jóvenes con fracturas de diáfisis tibiales cerradas, utilizando la clasificación de AO Müller, sin comorbilidades tratados quirúrgicamente mediante clavos endomedulares fresados acerrojados del Hospital Nacional de Clínicas de la F.C.M. de la U.N.C y del Hospital Italiano de Córdoba que es donde actualmente desarrollo mis tareas docentes asistenciales.

Ambas Instituciones son centros de referencia para estudios y tratamientos de fractura de diáfisis tibial, a mi cargo como Jefe del Departamento de Fracturas.

Se recolectaron todos los datos quirúrgicos necesarios para poder cumplir con los objetivos.

CUANTIFICACIÓN DE LA DISTANCIA AL AGUJERO NUTRICIO

Medición de las tibias: puntos de referencia y medición

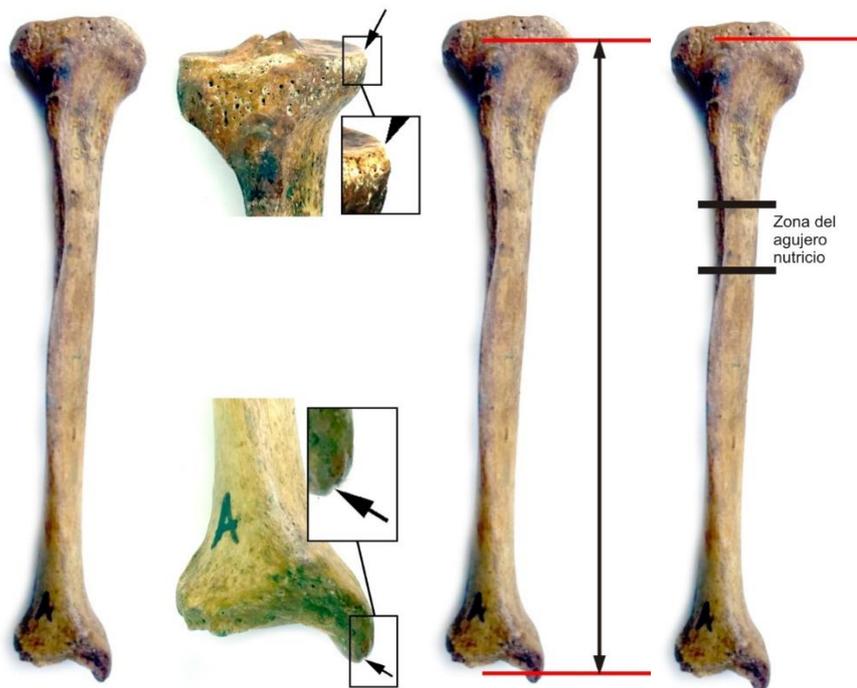


Figura 20: representación esquemática de los puntos de medición de la tibia y zona del agujero nutricio.

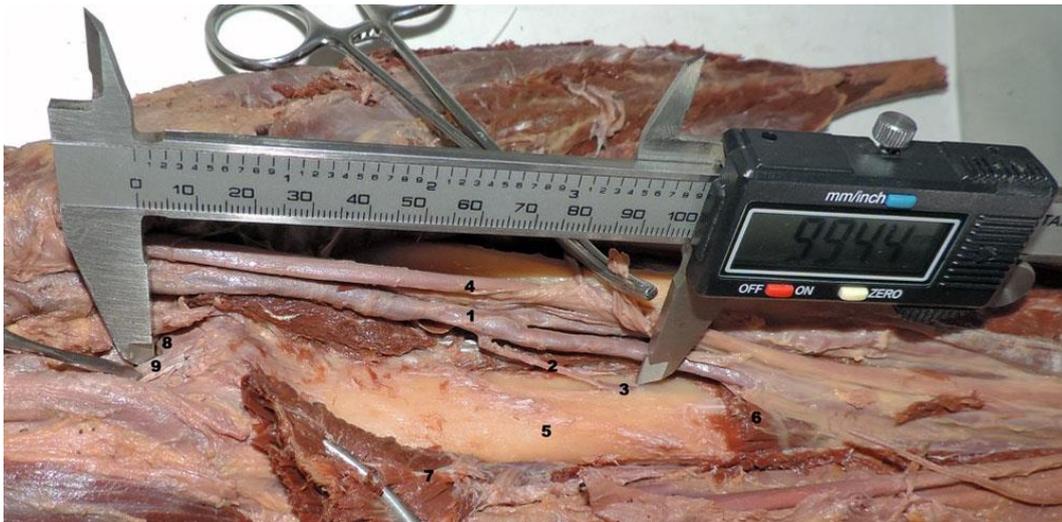


Figura 21: disección y medición: se observa la cuantificación en milímetros de la distancia desde del agujero nutricio de la tibia a la espina tibial posterior de la tibia con calibre digital. Referencias. pierna derecha: 1. Tronco tibioperoneo; 2. Arteria nutricia de la tibia; 3. Agujero nutricio; 4. Nervio tibial posterior; 5. Tibia; 6. Músculo tibial posterior; 7. Músculo poplíteo; 8. Espina tibial posterior; 9. Ligamento cruzado posterior

La arteria nutricia de la tibia penetra en el agujero nutricio principal, generalmente situado un poco por debajo de la línea oblicua de la tibia en su cara posterior, en la región más proximal de su tercio medial y no presenta colaterales.

Como se observa en la figura 22 el agujero nutricio se encuentra en todas las diáfisis en su tercio medial o proximal por lo que, en teoría, todas las fracturas que transcurren en el tercio medial por debajo de los agujeros nutricios tienen un aporte vascular limitado por la arteria nutricia en la región distal a la fractura.



Figura 22: Cuatro tibias con su agujero nutricio en la parte posterior por debajo de la cresta del sòleo. (fotografía de la Catedra de Anatomia Normal, F.C.M - U.N.C.)

El agujero nutricio de la tibia se sitúa en la región posterior del hueso, su localización exacta se investigó en cuarenta tibias (20 derechas y 20 izquierdas) humanas del Instituto y Cátedra de Anatomía Normal, F.C.M.-U.N.C.

Se midieron las tibias en su longitud total (desde el borde interno del platillo tibial interno al maléolo interno), se localizó el agujero nutricio con sistema métrico exacto (digital caliper essex) desde la espina tibial en la región posterior a la localización exacta del agujero nutricio de la tibia donde ingresa la arteria del mismo nombre que partir de allí se divide en arterias que irrigan éste hueso a través del canal medular , las medidas fueron consignadas en tablas y luego colocadas en el estudio.



Figura 23: tibias analizadas en el trabajo.



Figura 24 (arriba): primera medición con caliper digital.



Figura 25: segunda medición con caliper digital.

CLASIFICACIÓN DE LAS FRACTURA DE LA DIÁFISIS TIBIAL (AO DE MÜLLER)

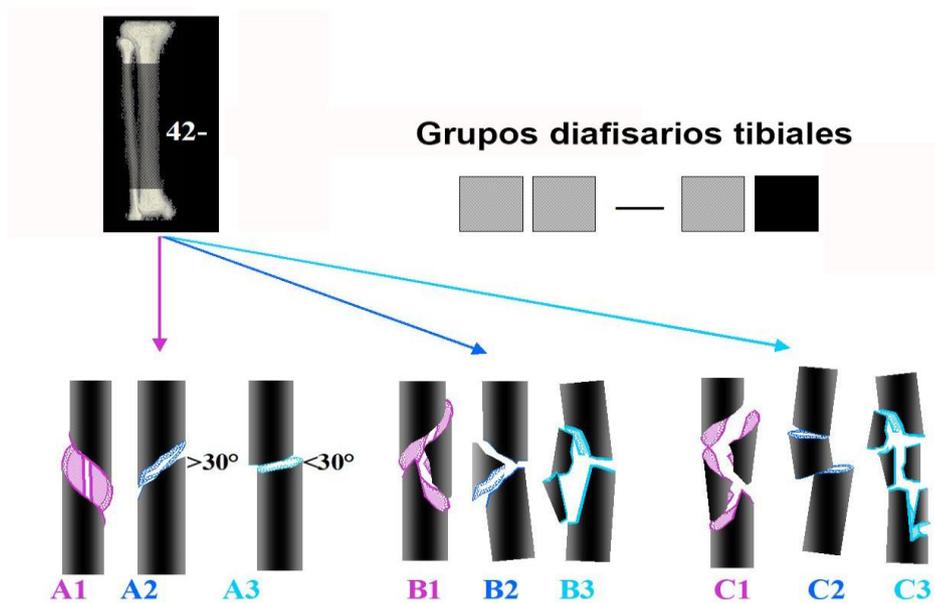


Figura 26: clasificación de fracturas diafisarias de la tibia. Modificada de: Ao-Müller.

CLAVO INTRAMEDULAR

Características:

- Control rotación
- Control longitud
- Ampliación indicaciones
 - Fractura conminuta
 - Fractura diafisarias más cercanas a las epífisis

Principios de Kuntscher

2. Clavos largos que llenen el canal medular
3. Técnica cerrada
4. Inserción alejada del foco de fractura
5. Compresión del foco de fractura
6. Movilidad precoz

Tipos de acerrojado

- Estático
 - Fractura conminuta
 - Dinámico
 - Permite desplazamiento axial “pistón”
 - Estimula formación del callo
 - No en fracturas conminutas. Produce Acortamiento
- Ventajas del Fresado:
 - Aumenta el área de contacto (fijación) hueso – clavo
 - Provee Injerto autólogo endóstico en el sitio fractura
 - Mejora las propiedades mecánicas en la interfaz hueso-implante, permitiendo el uso de implantes de mayor diámetro, más estabilidad.

- Desventajas del Fresado:
 - Necrosis Térmica.
 - Mayor riesgo de embolia grasa.
 - Destrucción temporaria de la circulación endomedular.

Técnica quirúrgica utilizada

Implante: CLAVO INTRAMEDULAR FRESADO ACERROJADO, Diámetros 8-14 mm, Largos 240-420 mm (en incrementos de 10 mm).

Posición del paciente: decúbito dorsal mesa radiolúcida, miembro afectado en 90° de flexión.

Pasos:

- Incisión a nivel del tendón rotuliano y llegada al hueso transtendón.
- Iniciar el agujero superior hasta el canal medular, con punta cuadrada.
- Colocación de guía de 4mm con oliva en cavidad medular previa reducción.
- Supervisión con intensificador de imágenes.
- Fresado con instrumental intercambiable has la mayor fresa posible.
- Cambio de guía a una sin oliva, previa medición para largo del clavo.
- Colocación de clavo canulado adecuado a través de la guía.
- Supervisión completa por intensificador de imágenes.
- Bloqueos mediante cerrojos arriba con guía y abajo a mano alzada.
- Tapón en la parte superior del clavo.

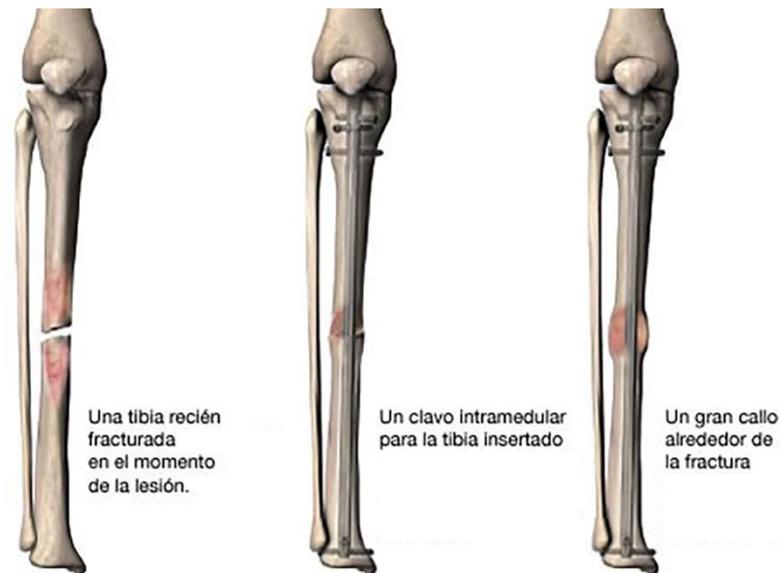


Figura 26: esquematización de la colocación y posterior consolidación de una fractura diafisaria de tibia con clavo intramedular acerrojado.

RELACIONES, FRACTURAS Y TRATAMIENTOS

Se utilizó la clasificación de Müller “AO” Borrelli⁵³, Canale⁵⁴, Anglen⁵⁵, Bucholz⁵⁶, Court-Brown⁵⁷, Ben-Galim⁵⁸, Bong⁵⁹, ISSM⁶⁰ de Suiza para las fracturas de los huesos largos.

Los tratamientos siempre fueron ejecutados por el doctorando y su equipo quirúrgico.

El tratamiento quirúrgico siempre fue el mismo, utilizando la técnica con clavo intramedular fresado acerrojado sin apertura del foco de fractura.

RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

Para los pacientes reclutados en el estudio científico se solicitó consentimiento informado, éstos llenaron una proforma autorizando los estudios necesarios para completar los objetivos de la investigación, se destaca que sólo se utilizaron los estudios por imágenes (angiografías, radiología pre y post cirugía) en los especímenes de los grupos B y C. Realizadas las disecciones cadavéricas, la comparación con angiografías, y los tratamientos quirúrgicos específicos, los datos obtenidos fueron analizados descriptivamente a partir de sus frecuencias y

porcentajes. Los resultados de las variables mensurables se expresaron como media \pm error estándar y las comparaciones entre grupos se efectuaron a partir del Test de varianza (ANAVA). En todos los casos se establece un nivel de significación $p < 0,05$. Se utilizó el paquete de software InfoStat®. Los resultados se representaron en forma de gráficos, tablas y fotografías para su mejor interpretación.

El plan de trabajo estuvo guiado por las normas de buenas prácticas clínicas, de lo establecido en la Declaración de Helsinki; se cuenta con el consentimiento informado verbal de los tutores de los participantes al momento de iniciar el procedimiento. Confidencialidad: el registro de participantes será archivado por el investigador y sólo podrán acceder al mismo el personal involucrado en el estudio. El protocolo de inclusión de casos fue avalado por las Direcciones de ambas instituciones y autorizado por el Comité de Capacitación y Docencia del Hospital Italiano.

Todos los estudios, análisis y conclusiones fueron analizados por el doctorando y controlados para su aprobación por su Director y Miembros de la Comisión de Seguimiento de Tesis.

RESULTADOS

Con los datos obtenidos del análisis de la casuística se realizaron los siguientes gráficos y tablas.

Al analizar la distribución global de casos según sexo, se puede observar predominio del sexo masculino (Figura 18)

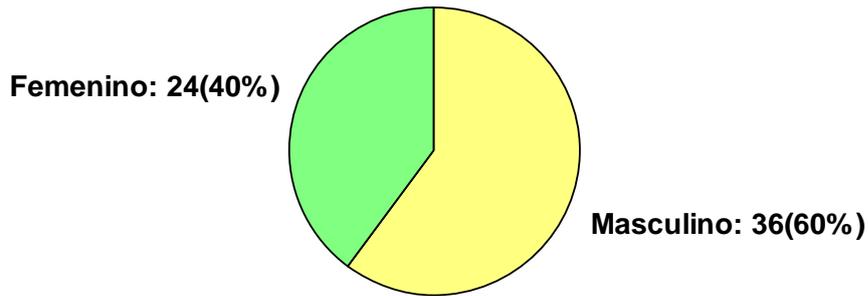


Figura 18: distribución de casos según sexo. Los valores se representan en frecuencias y porcentajes. (n=60)

La distribución etaria se analizó de la misma manera que el sexo, observándose que la mayor cantidad de casos fueron de mayor edad (>48 años) (Figura 19). Luego en grupos, se pudo consignar que en el grupo A (disecciones) las edades se correspondieron entre 50 y 81 años, los del grupo B (cirugía) entre los 21 y 50 años, y finalmente, los casos del grupo C (angiografías) entre 51 y 68 años (Figuras 20, 21 y 22; y Tabla 1)

Tabla 1: medidas resumen para edad de los casos analizados (n=60)

Grupo	n	Media	E.E.	Mín	Máx	Mediana
A	20	71,05	2,11	50,00	81,00	76,00
B	20	32,00	1,99	21,00	50,00	30,00
C	20	60,95	1,19	51,00	68,00	62,00

Referencias: n: número de casos; E.E.: error estándar; Mín: valor mínimo; Máx: valor máximo.

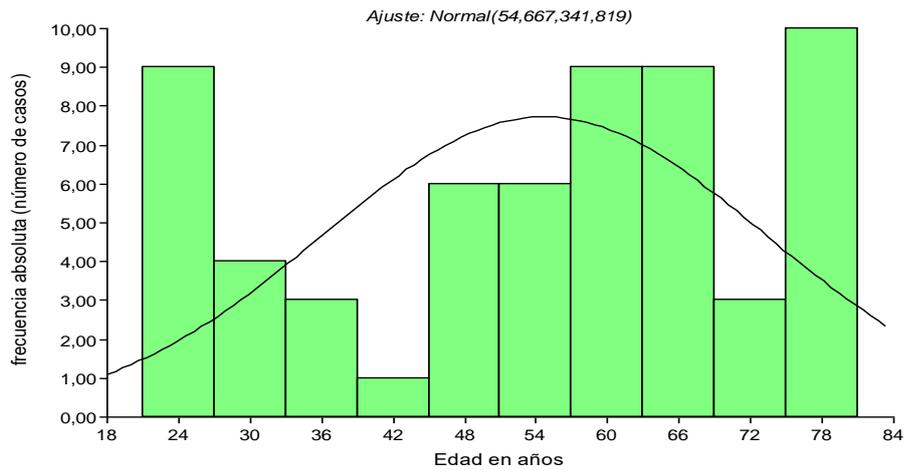


Figura 19: histograma de la distribución de casos según edad. Los valores se representan en frecuencias absolutas. (n=60)

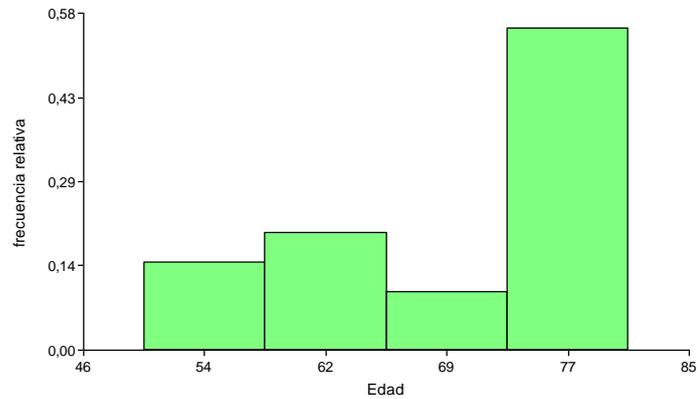


Figura 20: distribución de casos según edad para el grupo de disecciones (Grupo A). Los valores se representan en frecuencias relativas. (n=20)

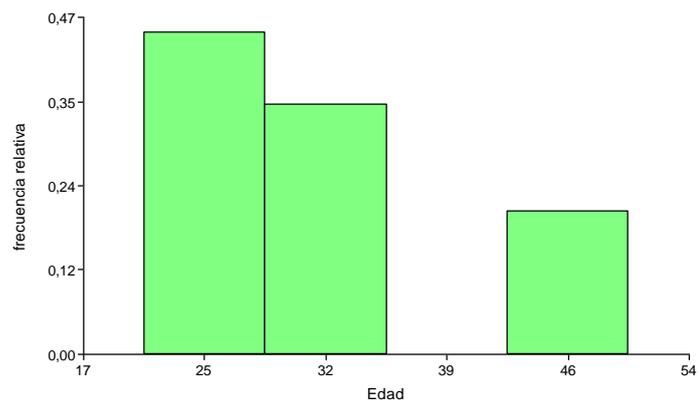


Figura 21: distribución de casos según edad para el grupo de cirugía (Grupo B). Los valores se representan en frecuencias relativas. (n=20)

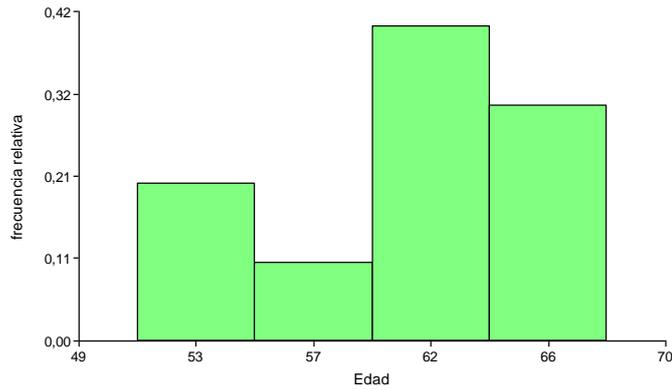


Figura 22: distribución de casos según edad para el grupo de angiografía (Grupo C). Los valores se representan en frecuencias relativas. (n=20)

A continuación, se consignó el tipo de fractura según la clasificación de las fracturas de Müller de los casos del Grupo B (n=20) y se pudo observar que predominaron los tipos B2 y A3, seguidos de los tipos A2 y A1 (Figura 23).

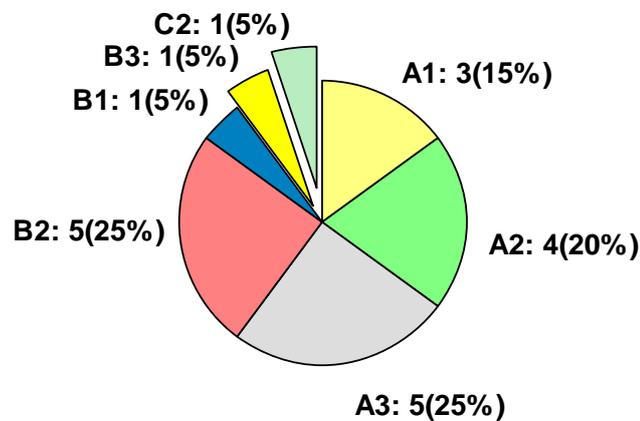


Figura 23: distribución de casos según tipo de fractura para el grupo de cirugía (Grupo B). Los valores se representan en frecuencias y porcentajes. (n=20)

El análisis del nacimiento de la arteria nutricia sólo se objetivó en 40 casos, 20 del grupo A y 20 del grupo C, en dicha indagación se pudieron observar porcentajes similares en ambos grupos (Tabla 2).

Tabla 2: distribución de casos según origen de la arteria nutricia en los grupos A (disecciones) y grupo C (angiografías). (n=40)

Origen	Grupo A n(%)		Grupo C n(%)	
Tr TP	12	60,0	11	55,0
T ant	5	25,0	5	25,0
T post	3	15,0	4	20,0
Totales	20	100,0	20	100,0

Referencias: n: número de casos; %: porcentaje de casos; Tr: tronco; TP: tibioperoneo; T: arteria tibial; ant: anterior; post: posterior. Grupo A: disecciones tibiales; Grupo C: angiografías tibiales.

Posteriormente, se analizó la longitud tibial correlacionando los tres grupos investigados. Se pudo observar escasas diferencias entre ellos, la cual no arrojó diferencias estadísticamente significativas para el análisis de varianza (ANAVA) ($p=0,9978$) (Tabla 3 y Figura 24).

Tabla 3: distribución de longitudes tibiales según grupo

Grupo	n	Media	E.E.	Valor p
A	20	356,75	9,39	0,9978
B	20	355,95	9,33	
C	20	356,05	9,23	

Referencias: n: número de casos; E.E.: error estándar.

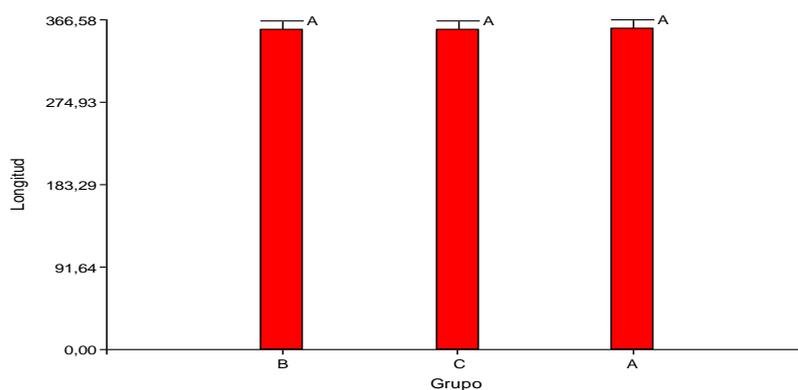


Figura 24: distribución de casos según longitud tibial. Los valores se expresan las medias \pm E.E de longitud tibial en milímetros. $p < 0,05$: surge de la comparación de medias entre grupos A vs B vs C. (n=60)

Finalmente, se objetivaron las distancias al agujero nutricio en los grupos A y C (disecciones y angiografías respectivamente) para luego compararlas. La pesquisa mostró, al igual que las longitudes tibiales, escasas variaciones sin diferencias estadísticamente significativas ($p=0,4607$) (Tabla 4 y 5, Figura 25)

Tabla 4: Medidas resumen para la distancia al agujero nutricio en dos grupos (n=40)

Grupo	n	Media	E.E.	Mín	Máx	Mediana
A	20	116,10	3,13	93,00	128,00	123,00
C	20	119,05	2,42	95,00	128,00	123,00

Referencias: n: número de casos; E.E. error estándar; Mín: distancia mínima; Máx: distancia máxima; A: grupo de disecciones; C: grupo de angiografías.

Tabla 5: Análisis de la varianza para la distancia al agujero nutricio en dos grupos (n=40)

Grupo	Medias	n	E.E.	Valor p
A	116,10	20	2,80	0,4607
C	119,05	20	2,80	

Referencias: n: número de casos; E.E. error estándar; Mín: distancia mínima; Máx: distancia máxima; A: grupo de disecciones; C: grupo de angiografías.

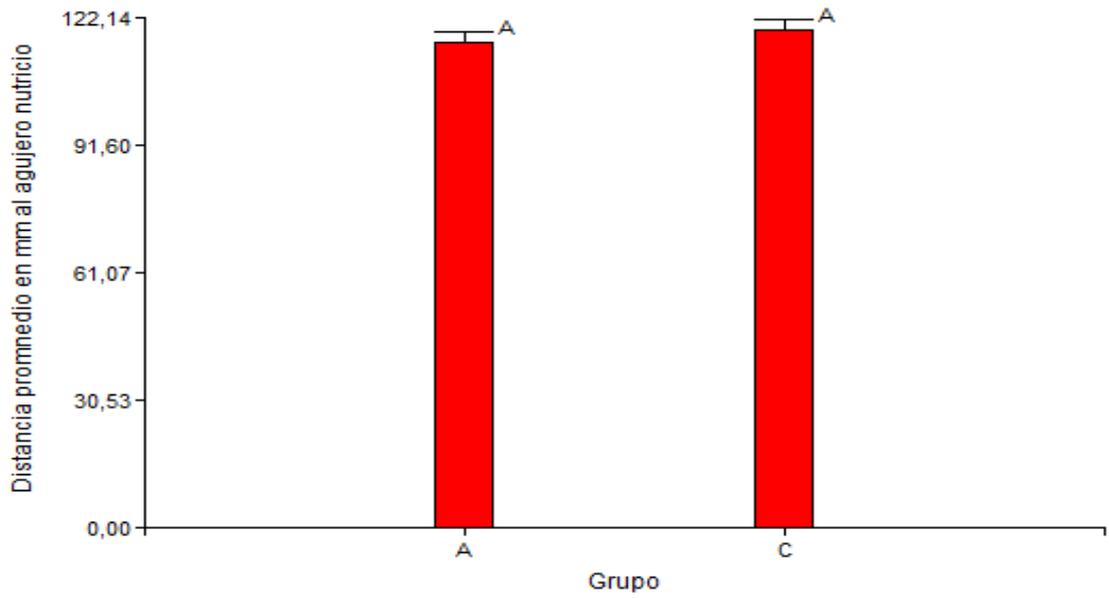


Figura 25: distribución de casos según longitud al agujero nutricio tibial. Los valores se expresan las medias \pm E.E de longitud tibial en milímetros. $p < 0,05$: surge de la comparación de medias entre grupos A vs C. (n=40)

RESULTADOS DE LAS DISECCIONES CADAVÉRICAS POR PLANOS



Figura 26: primer plano de disección: abordaje de la piel de una pierna izquierda en su cara posterior; se realiza una incisión longitudinal mediana y dos transversales, la proximal a la altura de la articulación fémoro-tibial y la distal cercana a la articulación tibio-peroneo-astragalina.



Figura 27: segundo plano de disección: se desplaza la piel y el tejido celular subcutáneo para exponer la fascia crural.



Figura 28: tercer plano de disección: visualización de componentes del compartimento superficial de la región posterior de la pierna. Referencias: 1: músculo gemelo externo. 2: músculo gemelo interno. 3: tendón de Aquiles. 4: vena safena externa.

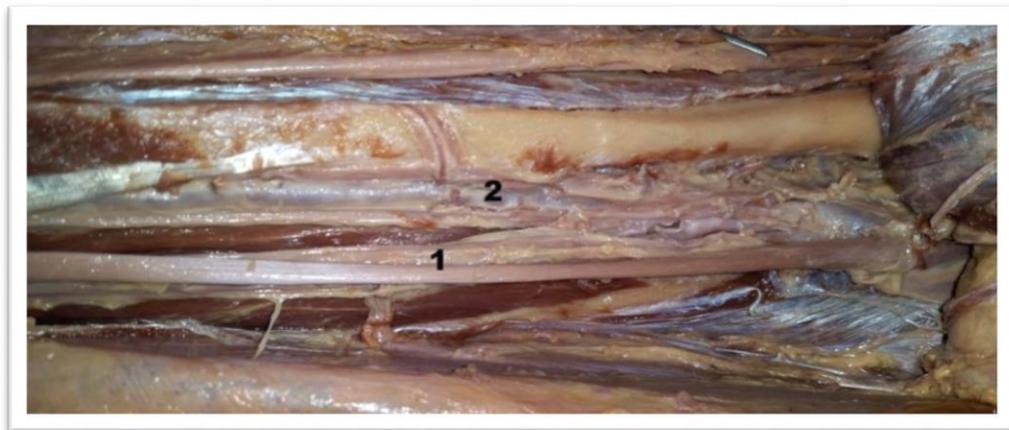


Figura 29: cuarto plano de disección: sección parcial del tabique transverso de la pierna para visualizar elementos vasculares. Referencias: 1: arteria, vena y nervio tibiales posteriores (paquete vásculo-nervioso). 2: arteria y vena peroneas.

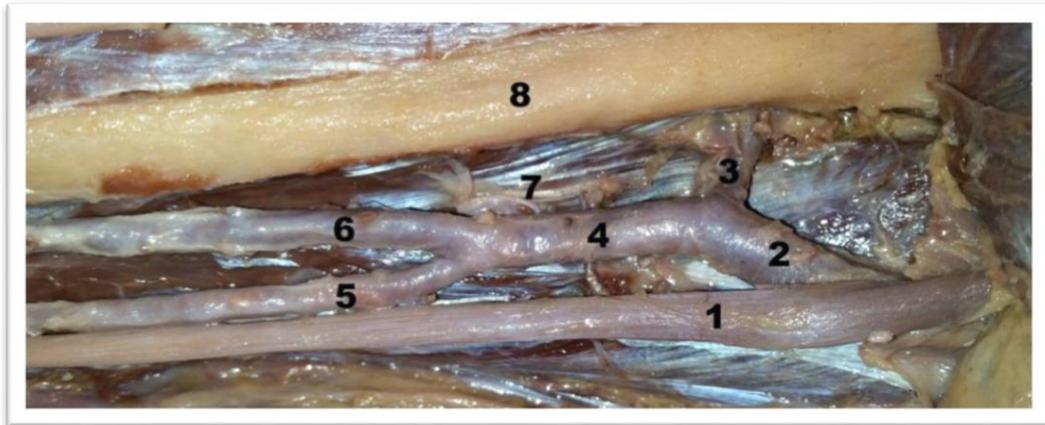


Figura 30: cuarto plano de disección: componentes profundos de la pierna. Referencias: 1: nervio tibial posterior. 2: arteria poplítea. 3: arteria tibial anterior. 4: tronco arterial tibio peroneo. 5: arteria tibial posterior. 6: arteria peronea. 7: músculo tibial posterior. 8: peroné.

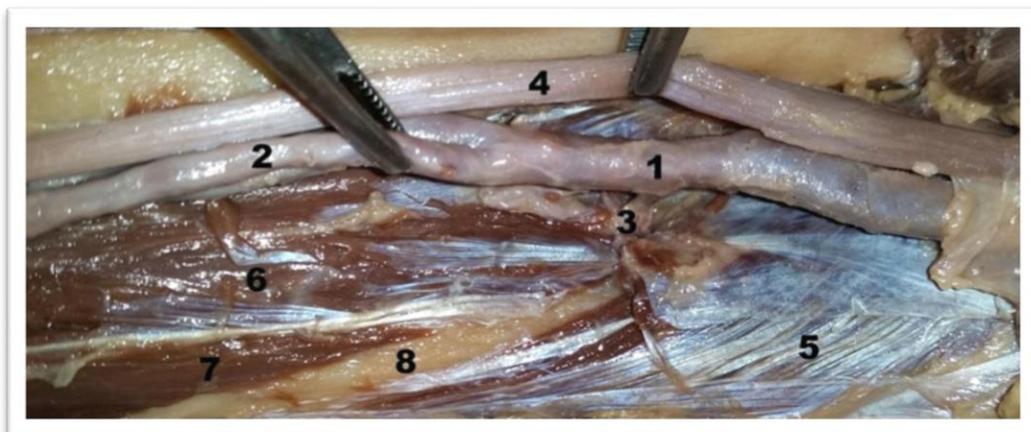


Figura 31: quinto plano de disección: compartimento profundo posterior de la pierna. Referencias: tronco arterial tibio peroneo. 2: arteria tibial posterior. 3: vasos nutricios de la tibia. 4: nervio tibial posterior. 5: músculo poplíteo. 6: músculo tibial posterior. 7: músculo flexor largo de los dedos. 8: línea áspera del sóleo (cuerpo tibial).



Figura 32: sexto plano de disección: compartimento profundo posterior de la pierna. Referencias: 1: tronco arterial tibio peroneo. 2: arteria nutricia de la tibia dependiente del tronco arterial tibio peroneo. 3: región del agujero nutricio de la tibia.

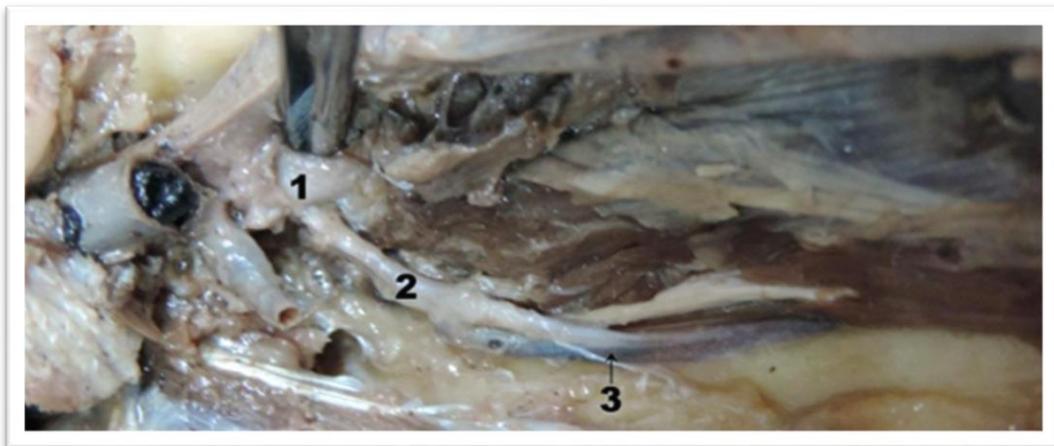


Figura 33: sexto plano de disección: compartimento profundo posterior de la pierna (pierna derecha). Referencias: 1: arteria tibial anterior. 2: arteria nutricia de la tibia dependiente de la arteria tibial posterior. 3: canal y agujero nutricio de la tibia.

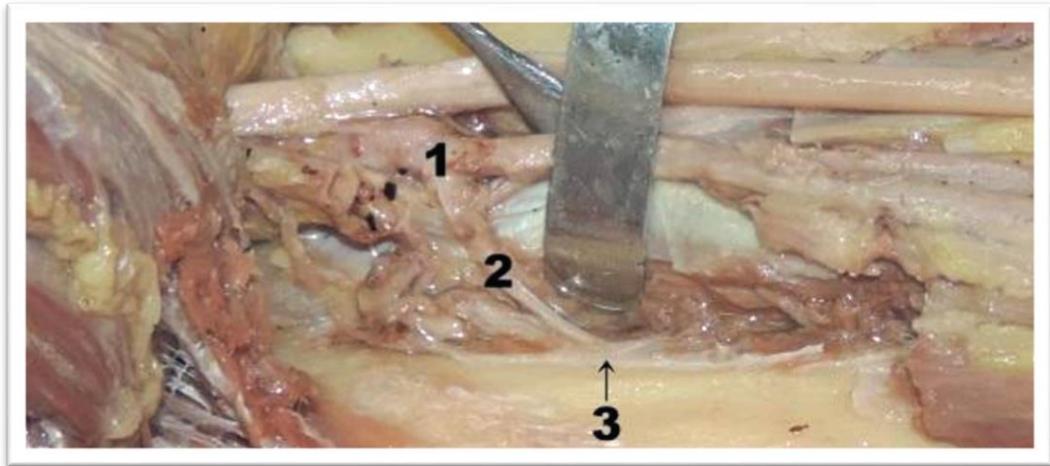


Figura 34: sexto plano de disección: compartimento profundo posterior de la pierna (pierna derecha). Referencias: 1: tronco arterial tibio peroneo. 2: arteria nutricia de la tibia dependiente del tronco arterial tibio peroneo. 3: agujero nutricao de la tibia.

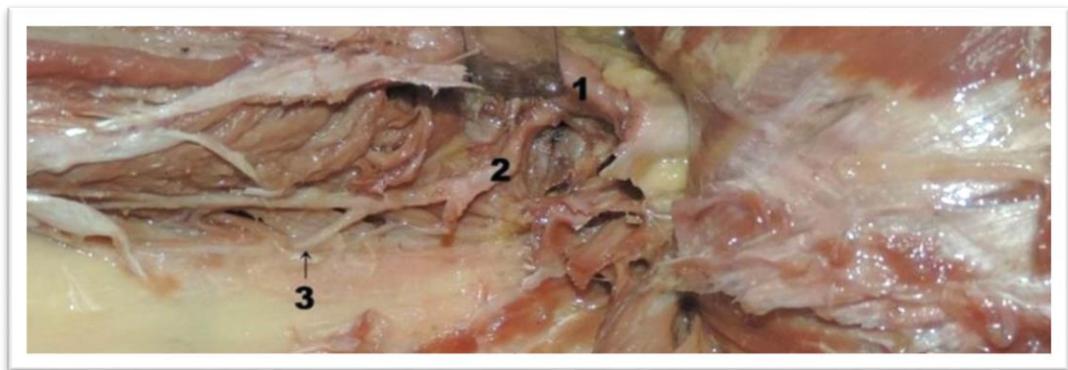


Figura 35: sexto plano de disección: compartimento profundo posterior de la pierna (pierna izquierda). Referencias: 1: tronco arterial tibio peroneo. 2: arteria nutricia de la tibia dependiente del tronco arterial tibio peroneo. 3: agujero nutricao de la tibia.



Figura 36: sexto plano de disección: compartimento profundo posterior de la pierna (pierna derecha). Referencias: 1: vasos tibiales posteriores. 2: arteria nutricia de la tibia dependiente de la arteria tibial posterior junto a la vena. 3: agujero nutricao de la tibia.

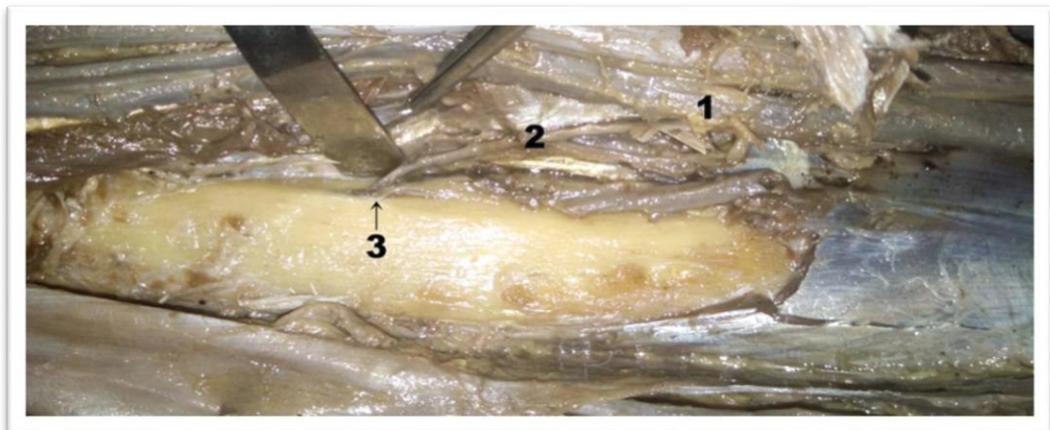


Figura 37: sexto plano de disección: compartimento profundo posterior de la pierna (pierna izquierda). Referencias: 1: vasos tibiales posteriores. 2: arteria nutricia de la tibia dependiente de la arteria tibial posterior. 3: agujero nutricao de la tibia.



Figura 38: sexto plano de disección: compartimento profundo posterior de la pierna (pierna derecha). Referencias: 1: bifurcación de la arteria poplítea. 2: arteria nutricia de la tibia dependiente del tronco arterial tibio peroneo. 3: canal y agujero nutricio de la tibia.

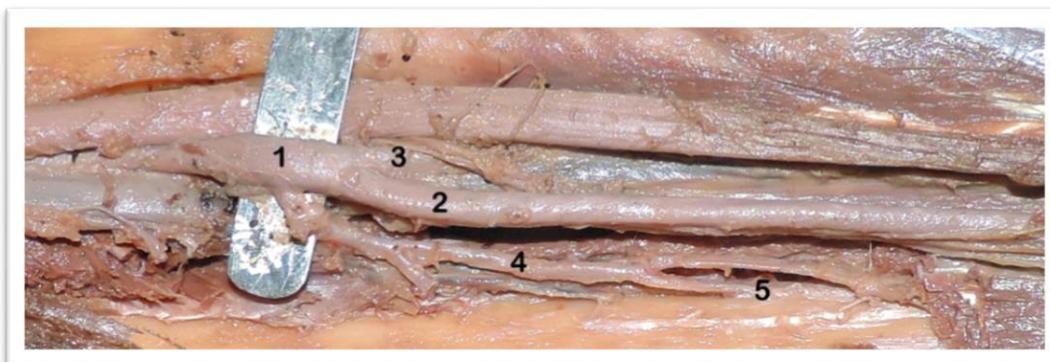


Figura 39: sexto plano de disección: compartimento profundo posterior de la pierna (pierna derecha). Referencias: 1: tronco arterial tibio peroneo. 2: arteria tibial posterior. 3: arteria peronea. 4: arteria nutricia de la tibia dependiente del tronco arterial tibio peroneo. 5: agujero nutricio de la tibia.

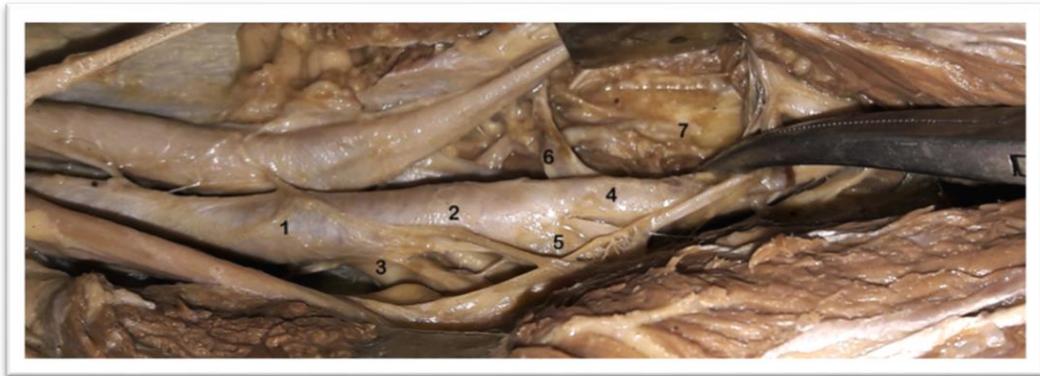


Figura 40: sexto plano de disección: compartimento profundo posterior de la pierna (pierna izquierda). Referencias: 1: arteria poplítea. 2: tronco arterial tibio peroneo. 3: arteria tibial anterior. 4: arteria tibial posterior. 5: arteria peronea. 6: arteria nutricia de la tibia dependiente de la arteria tibial posterior. 7: agujero nutricio de la tibia.

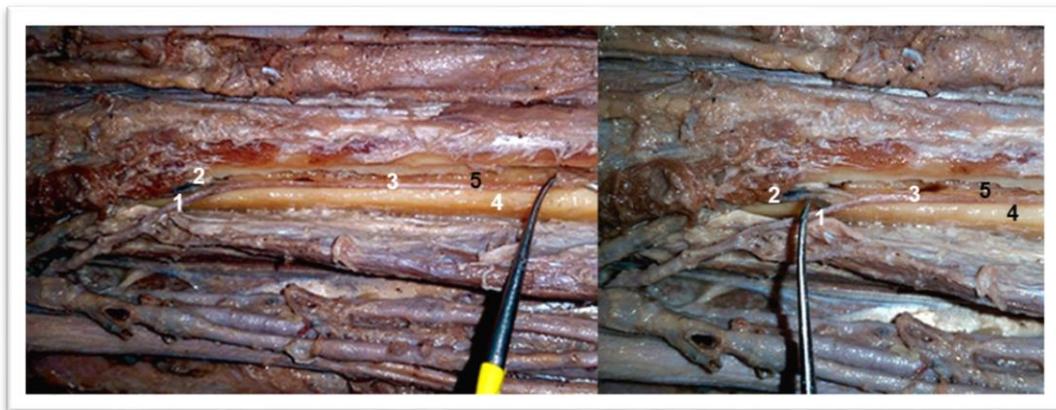


Figura 41: sexto plano de disección: compartimento profundo posterior de la pierna, elementos anatómicos y canal endomedular en dos casos. Referencias: 1: arteria nutricia de la tibia dependiente del tronco tibio peroneo. 2: rama ascendente de la arteria nutricia intracanal. 3: rama descendente de la arteria nutricia intracanal. 4: hueso tibial. 5: canal intramedular (cortical fresada).

Realizadas en el Instituto y Cátedra de Anatomía Normal de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de Córdoba.

RESULTADOS QUIRÚRGICOS

Al analizar la zona de fractura se puede observar que en la mayor parte de los casos analizados se producen bajo la zona de origen de la arteria nutricia (figura 42).

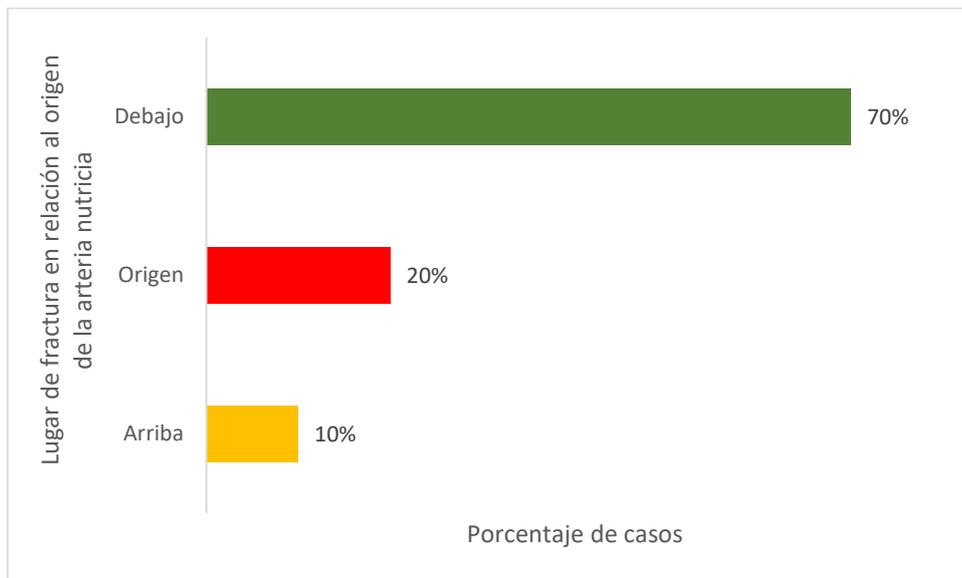


Figura 42: distribución de casos según lugar de fractura para el grupo B en relación a la zona origen de la arteria nutricia. Los valores se representan en porcentaje de casos. (n=20)

Se destaca que el 100% de los casos tratados consolidaron en el término de 6 meses independientemente del sitio de fractura, con o sin compromiso de la arteria nutricia.

El análisis de las longitudes tibiales promedio de los pacientes intervenidos quirúrgicamente no mostró diferencias significativas ($p=0,9987$) respecto a las mediciones cadavéricas y angiográficas promedio (357,1 mm vs 358,8 mm y 357,6 mm; respectivamente).



Figura 43: imágenes radiográficas (caso 1). Referencias: A: preoperatorio. B: postoperatorio inmediato. C: control de consolidación.



Figura 44: imágenes radiográficas (caso 2). Referencias: A: preoperatorio. B: postoperatorio inmediato. C: control de consolidación.



Figura 45: imágenes radiográficas (caso 3). Referencias: A: preoperatorio. B: postoperatorio inmediato. C: control de consolidación.



Figura 46: imágenes radiográficas (caso 4). Referencias: A: preoperatorio. B: postoperatorio inmediato. C: control de consolidación.



Figura 47: imágenes radiográficas (caso 5). Referencias: A: preoperatorio. B: postoperatorio inmediato. C: control de consolidación.

RESULTADOS ANGIOGRÁFICOS

Al analizar el origen de las arterias nutricias se pudo observar que la mayor parte de ellas provienen del tronco arterial tibioperoneo (figura 48).

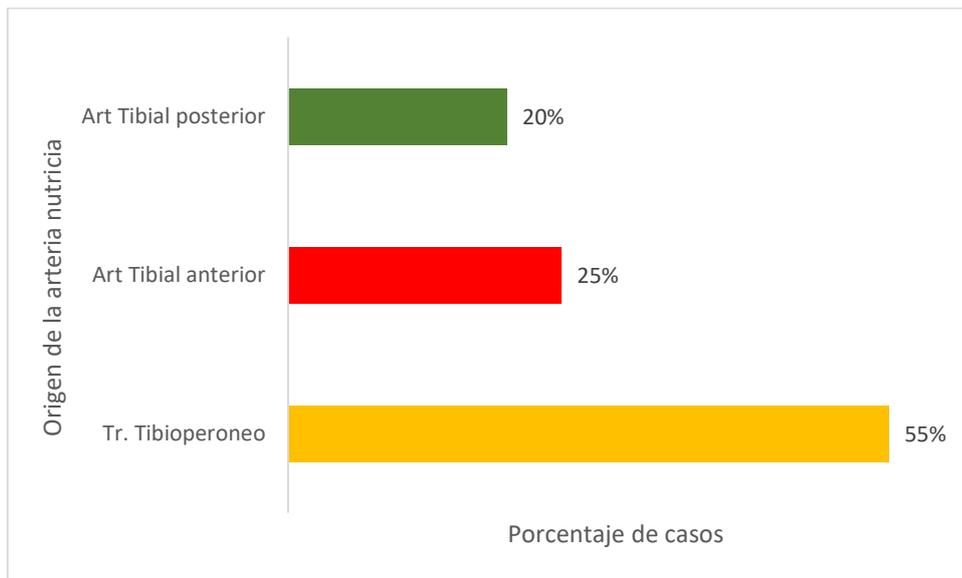


Figura 48: distribución de casos según origen de la arteria nutricia tibial para el grupo C. Los valores se representan en porcentaje de casos. (n=20)

Luego se compararon los hallazgos angiográficos, referidos al origen de la arteria nutricia, con los datos de origen obtenidos de las disecciones cadavéricas y no hubo diferencias estadísticamente significativas (tabla 6).

Tabla 6: Análisis de la varianza para el origen de la arteria nutricia tibial en dos grupos (angiografías digitales vs disecciones cadavéricas) (n=40)

Origen	Angiografías n (%)	Disecciones n (%)	Valor p
TTP	11(55)	12(60)	>0,05
TA	5(25)	5(25)	
TP	4(20)	3(15)	

Referencias: n: número de casos; %: porcentaje de casos; TTP: tronco arterial tibioperoneo; TA: arteria tibial anterior; TP: arteria tibial posterior.



Figura 49. Angiografía de pierna. Referencias:
1: arteria poplítea. 2: tronco arterial tibioperoneo. 3: arteria tibial anterior. 4: arteria tibial posterior. 5: arteria peronea. 6: arteria nutricia de la tibia dependiente de la arteria tibial anterior.



Figura 50. Angiografía de pierna. Referencias:
1: arteria poplítea. 2: tronco arterial tibioperoneo. 3: arteria tibial posterior. 4: arteria peronea. 5: 6: arteria nutricia de la tibia dependiente de la arteria tibial posterior.



Figura 51. Angiografía de pierna. Referencias:
 1: arteria poplítea. 2: tronco arterial tibioperoneo. 3: arteria tibial anterior. 4: arteria tibial posterior. 5: arteria peronea. 6: arteria nutricia de la tibia dependiente del tronco tibioperoneo.



Figura 52. Angiografía de pierna. Referencias: 1: arteria poplítea. 2: tronco arterial tibioperoneo. 3: arteria tibial anterior. 4: arteria tibial posterior. 5: arteria peronea. 6: arteria nutricia de la tibia dependiente del tronco tibioperoneo.



Figura 53. Angiografía de pierna. Referencias: 1: arteria poplítea. 2: arteria tibial anterior. 3: tronco arterial tibioperoneo. 4: arteria peronea. 5: arteria tibial posterior. 6: arteria nutricia de la tibia dependiente del tronco tibioperoneo.



Figura 54. Angiografía de pierna. Referencias: 1: arteria tibial anterior. 2: tronco arterial tibioperoneo. 3: arteria nutricia de la tibia dependiente de la arteria tibial anterior.



Figura 55. Angiografía de pierna. Referencias: 1: arteria tibial anterior. 2: tronco arterial tibioperoneo. 3: arteria peronea. 4: arteria tibial posterior. 5: arteria nutricia de la tibia dependiente de la arteria tibial anterior.

Figura 56. Angiografía de pierna. Referencias: 1: arteria poplítea. 2: arteria tibial anterior. 3: tronco arterial tibioperoneo. 4: arteria nutricia de la tibia dependiente de la arteria tibial anterior.



DISCUSIÓN

La pierna está compuesta por dos huesos largos que van en paralelo, el peroné y la tibia.

El peroné es un hueso delgado y largo, que presta inserción a muchos de los músculos de la pierna.

La tibia es un hueso largo y grueso responsable de soportar el 80% del peso corporal.

La tibia y el peroné están conectados en toda su longitud por una membrana interósea fibrosa, estas tres estructuras juntas dividen a la pierna en un compartimento anterior y posterior.

El compartimento anterior está a su vez dividido en compartimentos anterior y lateral por una fascia intermuscular.

El compartimento anterior tiene cuatro músculos, el extensor largo de los dedos, flexor largo del dedo gordo, el peroneo anterior y el tibial anterior. Estos músculos están irrigados por vasos de la tibial anterior e inervados por el nervio peroneo profundo.

El compartimento lateral contiene dos músculos, el peroneo lateral corto y el peroneo lateral largo, vascularizados por la arteria peronea e inervados por el nervio peroneo superficial.

El compartimento posterior está dividido por una fascia intermuscular en dos compartimentos, uno superficiales y otro profundo.

El compartimento superficial contiene los músculos gastrocnemio, sóleo, y plantar. El gastrocnemio y el sóleo se unen para formar el tendón de Aquiles que se inserta en el hueso calcáneo, están a su vez vascularizados por la arteria poplítea e inervados por el nervio tibial.

El compartimento profundo tiene cuatro músculos, el poplíteo, el extensor largo de los dedos, el flexor largo del dedo gordo, y el tibial posterior, están irrigados por dos arterias, la tibial posterior y la peronea, e inervados por el nervio tibial.

El acabado conocimiento anatómico de la vascularización del miembro inferior es de suma importancia, ya que nos permite tener una clara idea de la distribución e irrigación arterial de la región.

Las diáfisis de los huesos largos están irrigadas por una o varias arterias nutricias que atraviesan el hueso compacto y se dividen en la cavidad medular en ramas ascendentes y descendentes, acompañadas, junto a las extremidades óseas, de las ramas terminales arteriales metafisarias y epifisarias.

El periostio es una membrana de varias capas celulares gruesas que recubre casi todo el hueso. Las únicas partes no cubiertas por esta membrana son las que están cubiertas por cartílago. Además de recubrir el hueso y compartir algo del suministro de su sangre con el hueso, también produce hueso cuando se estimula apropiadamente. Para que el periostio se estimule en la producción de hueso tiene que ocurrir ciertos acontecimientos como, fracturas, desgarros, estiramientos, inflamaciones, o incluso las contusiones del periostio.

De acuerdo a lo relatado, creo que conocer con antelación la localización más frecuente de las arterias nutricias, resulta de gran ayuda para poder aplicar estos conocimientos básicos en la práctica quirúrgica diaria.

Son muchos los estudios realizados para describir la anatomía vascular de la pierna Cormak⁶¹, Morrison⁶², Taylor⁶³, Daya⁶⁴, y numerosos los autores que han investigado la localización, trayecto y número de perforantes arteriales en este área Koshima⁶⁵, Yoshimura⁶⁶, Hung⁶⁷, Wolf⁶⁸, Carriquiry⁶⁹, Lykoudis⁷⁰, Wu⁷¹, Koshima⁷², y John⁷³.

Las arterias nutricias son el principal suministro de sangre de los huesos largos, que es particularmente importante durante el período de crecimiento activo, así como durante las primeras fases de la osificación. En un estudio, realizado por Kizilkanat y cols⁷⁴, se investigaron 569 huesos largos humanos adultos de miembros superiores e inferiores, entre ellos cien (100) tibias, para determinar el número y localización de su agujero nutricio. Para cada hueso, se calculó un índice foraminal que daba la ubicación del agujero en relación con su extremo proximal. En el miembro inferior, específicamente en la tibia, los forámenes se localizaron en la diáfisis entre el 27% y el 63% de los casos.

El hueso desprovisto de circulación, sufre una isquemia secundaria que produce la lesión o muerte del tejido, dicha afectación tendrá matices diferentes dependiendo de si se produce a nivel diafisario, epifisario o metafisario. La isquemia puede ser

transitoria o mantenida lo que produce necrosis, que puede ser reparable o no. La etiología es la necrosis, debida al cese o reducción importante del aporte sanguíneo al área afectada, esta también puede ser secundaria a graves lesiones celulares del hueso o la médula ósea debido a fracturas, tanto cerradas como abiertas.⁷⁵

La medula ósea está considerada como uno de los órganos más grandes del cuerpo, tanto es así que se aproxima en tamaño y peso al hígado, también es uno de los más activos.

En condiciones normales el 75% de las células presentes en la medula ósea pertenece a la serie mieloide productora de leucocitos y sólo el 25% está conformado por eritrocitos en maduración, aunque hay una cifra mayor de 500 veces de eritrocitos que de leucocitos en la circulación. Esta diferencia en la medula ósea refleja que la vida promedio de los leucocitos es corta, en tanto la de los eritrocitos es más prolongada. Las células hematopoyéticas primordiales (HSC) son células medulares capaces de generar todos los tipos de células sanguíneas.⁷⁶

Se han descrito ciertos patrones de localización más frecuente de las nutricias a distintos niveles según el tronco vascular del que dependan.

Mast⁷⁷ en el año 2001, refirió que se requiere una evaluación vascular objetiva antes de la reconstrucción microvascular que involucra a las extremidades inferiores. El objetivo de su estudio fue evaluar la fiabilidad de la angiografía por resonancia magnética (ARM) para la evaluación preoperatoria antes de la cirugía de colgajo libre. Cinco pacientes fueron sometidos a ARM preoperatoria, uno con reconstrucción oromandibular con colgajo peroneo dependiente y cuatro antes de la reconstrucción de colgajo libre de músculo, en todos los pacientes, el tronco tibio-peroneo, la arteria tibial anterior, tibial posterior y arterias peroneas fueron visualizadas, incluyendo oclusiones patológicas, estos hallazgos radiográficos se demostraron en la cirugía y se confirmó que eran exactos, de ésta manera facilitaron y guiaron el procedimiento quirúrgico. Este estudio sugirió la exactitud y la relevancia quirúrgica de ARM antes de la cirugía de colgajo libre y que es deseable sobre la angiografía debido a su naturaleza no invasiva y también con más ventajas que la ecografía, ya que ésta última es operador dependiente.

Estos datos coinciden con los encontrados por Lykoudis⁷⁰, el cual nos habla en su estudio anatómico realizado sobre la disección de cincuenta y dos (52) piernas de

cadáveres que existe una predominancia indiscutible de arterias nutricias dependientes del tronco tibio-peroneo en la zona proximal del borde lateral de la pierna.

La vascularización arterial de la tibia en un adulto también fue examinada por Fischer y cols por microangiografía, mostraron que la diáfisis depende de la nutrición por una rama de la arteria tibial y de los sistemas periósticos en forma secundaria, estos dos sistemas son igualmente importantes en los dos tercios superiores, pero en el tercio inferior el sistema de nutrición más importante es el perióstico. La metáfisis proximal recibe numerosas arterias procedentes del sistema perióstico, éstas se anastomosan con las ramificaciones terminales de la arteria nutricia.⁷⁸

En este sentido, Menck y cols, en su publicación sobre el periostio de la tibia y el suministro de sangre arterial muestran una angioarquitectura sectorial general en cuatro segmentos: proximal y distal epifisario, diafisarios proximal y distal. El proximal del periostio tibial se nutre con sangre de las arterias recurrentes tibiales anterior y posterior. En la diáfisis proximal las ramas periósticas surgen de la arteria tibial anterior y la arteria tibial posterior. La diáfisis distal (debajo de la mitad de la tibia) se nutre exclusivamente de ramas periostales semicirculares de la arteria tibial anterior, alrededor del hueso de ambos lados y se unen entre sí en la cara medial. La región dorsal se nutre en todos los casos por ramas de la arteria peronea y la arteria tibial posterior, ya que en la región medial la nutrición periosteal está asegurada sólo por anastomosis. Tanto las caras laterales como las posteriores son irrigadas por ramas directas que surgen de las arterias principales de la parte inferior de la pierna.⁷⁹

Hallock y cols, en su revisión, investigaron la anatomía quirúrgica del vaso nutricio principal del hueso tibial en 53 ejemplares de miembros inferiores frescos, hacen referencia a que las descripciones clásicas de la anatomía vascular son inadecuadas, ya que el origen de su vaso nutritivo principal puede ser de la bifurcación poplítea o vasos tibiales anteriores o posteriores. En cada disección se descubrió que al menos una arteria y una vena de gran calibre (ambos que excedían de 1,5 mm de diámetro en el 85% de los cadáveres analizados) que entraban en un agujero nutricio, usualmente en el tercio superior de la tibia. Los estudios de inyección de

óxido de plomo de la arteria solo en 9 cadáveres no demostraron comunicaciones musculares ni cutáneas contiguas. El gran tamaño de estos vasos nutricios simplificaría las transferencias pediculares ipsilaterales una vez superadas las barreras inmunológicas, estos datos, relataban, deberían tener aún mayor significado clínico práctico para el uso de aloinjertos tibiales vascularizados para sustitución u otros sitios donantes óseos convencionales.⁸⁰

Otros autores, como Oni y cols, investigaron las vías de drenaje venoso de la médula diafisaria de la tibia con técnicas radiológicas post-perfusión con una suspensión acuosa de sulfato de bario. Las radiografías simples inmediatamente después de la perfusión revelaron que el colorante escapó rápidamente de la médula a la circulación sistémica general a través de una serie de grandes rutas transcorticales. Las venas periostales se muestran como una delicada red de vénulas situadas en la superficie externa del cuerpo tibial. El colorante perfundido se difundió difusamente por todo el ancho del canal medular y de metáfisis a metáfisis, lo que sugiere que la médula es un sistema circulatorio abierto con límites mal definidos.⁸¹ En nuestro estudio hemos observado que las arterias nutricias dependientes del tronco tibio-peroneo y arterias tibiales se localizan en la mayoría de los casos en la cara posterior del tercio proximal de la pierna.



Figura 57: Imagen de una tibia en la cual se observa el agujero nutricional, espécimen de la Cátedra de Anatomía Normal, F.C.M., U.N.C.

No coincidirían con los encontrados en estudios previos de disección anatómica como los de Schaverien⁸², Hung⁸³ o Heitman⁸⁴, los cuales concluyen que las perforantes dependientes de la peronea se distribuyen principalmente en el tercio medio de la pierna.

Por lo tanto, en lo que se refiere a la distribución más habitual de las perforantes en la pierna, no hemos encontrado resultados similares a los descritos por estos autores. Nuestros hallazgos indican que un porcentaje importante de las arterias nutricias de la tibia se originan en el tronco tibio-peroneo.

Queremos destacar que, durante la divulsión de tejidos, en el sexto plano de disección, hallamos un apéndice fibroso insertado en los bordes del canal del agujero nutricio a modo de protección del ingreso de la arteria al hueso tibial.

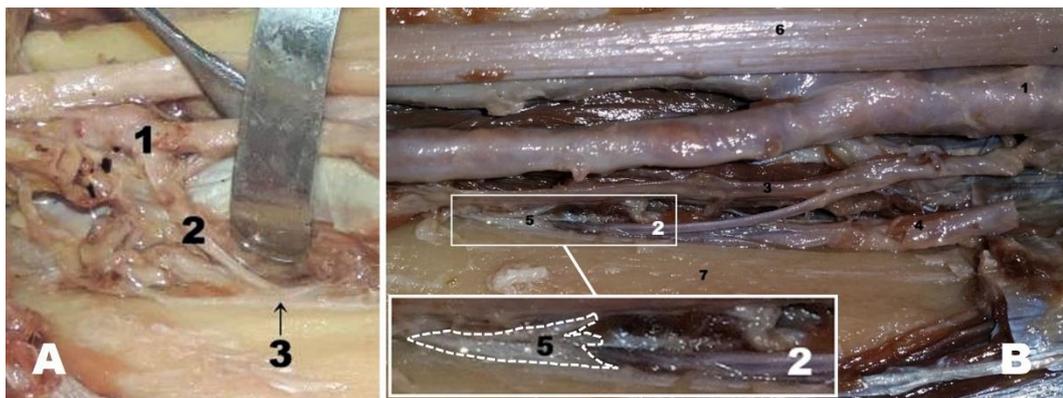


Figura 58: Sexto plano de disección. A: pierna derecha: 1. Tronco tibioperoneo; 2. Arteria nutricia. 3. Membrana triangular que cubre el agujero nutricio. B: pierna izquierda: 1: tronco tibioperoneo; 2: arteria nutricia de la tibia; 3: ramo para el músculo tibial posterior; 4: vena nutricia; 5: membrana triangular que rodea la entrada de la arteria al agujero nutricio; 6: nervio tibial posterior; 7: tibia.

Longitud tibial

Respecto a nuestros resultados, para Collipal y cols⁸⁵, en la tibia derecha la longitud promedio era de trescientos cincuenta y ocho milímetros con ocho décimas (358,8 mm) (rango: 319-436 mm), en la tibia izquierda era trescientos cincuenta y cuatro milímetros con nueve décimas (354,9 mm) (rango: 310-446 mm). *El agujero*

nutriente de la tibia se encontró a una distancia promedio de ciento diecisiete milímetros con ocho décimas (117,8 mm) desde el ápice del tubérculo intercondilar hasta el agujero nutriente en el tercio superior del hueso.

Datos muy similares a los por nosotros cuantificados.

Nosotros observamos en la tibia que en el noventa y cinco por ciento (95%) de los casos existe un agujero diafisario y sólo dos agujeros en el 5% restantes, muy similares a los reportados por Longia y cols⁸⁶, noventa y cinco por ciento (95%) un foramen y cinco por ciento (5%) dos agujeros; Kirschner y cols⁸⁷, 93,5% a foramen y seis por ciento y cinco décimas (6,5%) dos agujeros. Para Mysorekar⁸⁸ en el noventa y nueve por ciento (99%) sólo existe un nutriente para el nombre en la diáfisis tibial. Gómez y cols⁸⁹, señalan que existe una fuerte interdependencia entre la situación de los agujeros nutritivos y la longitud total del hueso. Estos cuatro autores confirman nuestros hallazgos anatómicos y hemodinámicos.

Agujero nutricio

Anatómicamente, Schwalbe explicó que el crecimiento en los dos extremos de un hueso largo antes de la aparición de las epífisis es igual. Por lo tanto, el agujero nutriente antes del nacimiento debe estar dirigido horizontalmente. Se han propuesto muchas teorías para explicar la dirección de los agujeros y también las dirigidas anómalamente en su teoría del "deslizamiento periosteal" y la teoría vascular de Hughes ampliamente aceptadas en la literatura.^{90,91}

Patake y Mysorekar⁹² opinaron que el número de forámenes no parece tener relación significativa alguna con la longitud del hueso. En este sentido Mysorekar⁹³ sugirió que la dirección de los agujeros nutritivos está determinada por el extremo en crecimiento del hueso. Se supone que el crecimiento distal crece por lo menos dos veces más rápido que el otro extremo. Henderson⁹⁴, coincidiendo con esta premisa, publica que dos factores conocidos pueden afectar la posición del agujero nutritivos, las tasas de crecimiento en dos extremos del eje y la remodelación ósea. En concordancia, Lacroix⁹⁵ sugirió que la tracción de las inserciones musculares en el periostio explicaba ciertas direcciones anormales de los agujeros nutrientes. Ya que las arterias nutrientes que son el principal suministro de sangre a los huesos

largos son particularmente vitales durante el período de crecimiento activo y en las primeras fases de la osificación.⁹⁶

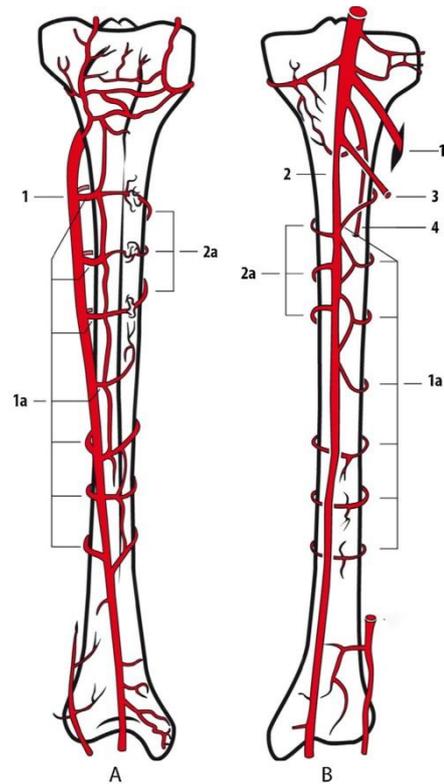
Algunos estudios, Longia y cols⁹⁷, Prashanth y cols⁹⁸, Pereira y cols⁹⁹ y Nagel¹⁰⁰, han demostrado que la mayoría de las tibias tienen sólo un foramen, mientras que en una minoría tiene dos. Encontraron, además, que el agujero nutricional está localizado en la cara posterior, por debajo de la línea del sóleo, con pocos agujeros en las superficies laterales o mediana. Éstos se sitúan generalmente en el nivel del tercio superior o del tercio medio del hueso o en la unión entre estos tercios. Una vez dentro de la cavidad medular, la arteria nutricia forma un lazo o un nudo y se divide en ramas ascendentes y descendentes: las descendentes continúan la dirección descendente de la arteria nutriente principal, mientras que las ascendentes retornan hacia arriba.

Ambas arterias endoóseas se bifurcan casi inmediatamente en innumerables ramas más delgadas (ver esquema, figura 60), creando una red de vasos directos hacia la metafisis en el interior; proporcionan también, la parte endostal de la corteza y anastomosis con ramas terminales de las arterias metafisarias (ver esquema, figura 61).



Figura 60: Ilustración de la tibia (vista lateral) que muestra su sistema vascular nutritivo: una sola arteria nutriente (1) entra en el eje a través de la cara posterior del hueso en su tercio superior con un recorrido descendente. Una vez dentro de la cavidad medular se divide en ramas ascendentes y descendentes.

Figura 61: esquemas de la tibia (vistas anterior (A) y posterior (B)) mostrando su sistema vascular periosteal: la mitad proximal del hueso es suministrada en la cara lateral por algunas ramas (1a) procedentes de la arteria tibial anterior (1) y En la cara posterior por algunas ramas (2a) procedentes de la arteria tibial posterior (2). La cara medial se nutre de un complejo anastomótico irregular formado por las ramas que surgen de las arterias tibiales anterior (1) y posterior (2). La mitad distal del hueso es suministrada principalmente por la arteria tibial anterior (1), que desprende algunas ramas que rodean el eje. En la vista posterior (B) también es posible observar la arteria peroneal (3) y la arteria nutriente (4), que atraviesa la corteza.



La diáfisis tibial está irrigada, generalmente, por una sola arteria nutricia. Su origen es variable: en la mayoría de los casos, diferentes autores como: Nelson y cols¹⁰¹, Crock¹⁰², Hallock y cols¹⁰³, Forriol Camposy cols¹⁰⁴, se observó que proviene de la arteria tibial posterior, pero en otros casos de la arteria tibial anterior o incluso directamente de la arteria poplítea al nivel de la bifurcación. *Concordamos con la cantidad de arterias nutricias, pero en nuestro trabajo el origen más frecuente fue del tronco arterial tibioperoneo.*

Consolidación de la fractura

La multitud de factores implicados en la consolidación de una fractura han sido investigados en numerosos estudios clínicos, biomecánicos y de laboratorio, pero todavía no son bien conocidos. Nuestro conocimiento de las vías celulares y moleculares que gobiernan el proceso de consolidación de la fractura ha mejorado,

pero dista mucho de ser completo. La consolidación de una fractura puede considerarse desde diferentes puntos de vista: biológico, bioquímico, biomecánico y clínico. Es conocido que una de las causas de retraso en la consolidación del foco de la de la fractura es la falta de suministro arterial, es un proceso biológico de reparación. Dado que, la consolidación, es un proceso complejo que requiere la presencia de las células apropiadas (fibroblastos, macrófagos, condroblastos, osteoblastos, osteoclastos) y la expresión consiguiente de los genes apropiados (aquellos que controlan la producción y organización de la matriz, factores de crecimiento, factores de transcripción) en el momento preciso y en la localización anatómica conveniente. Una fractura inicia una secuencia de inflamación, reparación y remodelación que puede restablecer el hueso lesionado a su estado original en pocos meses si cada fase de esta cascada interdependiente sucede sin complicaciones. La consolidación clínica se produce cuando el aumento progresivo de la rigidez y resistencia debido al proceso de mineralización estabiliza el foco de fractura y elimina el dolor. La consolidación radiológica se alcanza cuando las radiografías muestran el paso de hueso trabecular o cortical a través del foco de fractura.

En la fase inflamatoria de la consolidación de una fractura, se forma un hematoma por la rotura de vasos sanguíneos. Las células inflamatorias invaden el hematoma y comienzan la degradación lisosómica del tejido necrótico. Bolander sugirió que el hematoma es una fuente de moléculas señalizadoras, como el factor transformador del crecimiento-beta (TGF- β) y el factor de crecimiento derivado de las plaquetas (PDGF), que inician y regulan las cascadas de eventos celulares que conducen a la consolidación de la fractura. La fase reparativa, que suele comenzar 4-5 días después de la lesión, se caracteriza por la invasión de células mesenquimales pluripotenciales, que se diferencian en fibroblastos, condroblastos y osteoblastos y forman un callo de fractura blando.

Así, la proliferación de vasos sanguíneos (angiogénesis) dentro del periostio y la médula ósea ayuda a dirigir las células apropiadas hacia el foco de fractura y contribuye a la formación de un lecho de tejido de granulación. La transición de callo de fractura a hueso reticular y el proceso de mineralización, que da rigidez y resistencia al hueso neoformado, señala el comienzo de la fase de remodelación,

que puede durar meses o incluso años. El hueso reticular es sustituido por hueso laminar, se restablece el canal medular y se recupera la morfología y la resistencia mecánica normal o casi normal del hueso. Cada una de estas fases se superpone con el final de la fase precedente de forma que la consolidación de una fractura es un proceso continuo.

Durante el complejo proceso de reparación de una fractura, se producen cuatro tipos básicos de formación de hueso nuevo: osificación osteocondral, osificación intramembranosa, formación de hueso nuevo por aposición y migración osteonal (sustitución por arrastre). El tipo, cantidad y localización del hueso formado pueden estar influidos por el tipo de fractura, estado del hueso de fractura, rigidez de la fijación, carga y ambiente biológico. Es decir, cuando se produce una fractura, la reparación ósea puede tomar dos caminos: seguir un proceso reparativo exitoso o sufrir algún trastorno en el proceso normal reparativo que retarde el proceso o no lograr realizarlo en ningún momento. Para tratar los trastornos de la consolidación, debemos conocer cómo se produce dicho proceso de manera natural.

El proceso de consolidación sigue su historia natural durante el tratamiento ortopédico, produciéndose un callo perióstico y otro endóstico. Arrebola describe cinco etapas:

1. Inicial/latencia: Durante esta etapa se produce la formación del secuestro fracturario mediante osteolisis. Además, en el hematoma fracturario se produce la acción plaquetaria
2. Organización: Luego de concluida la etapa inicial se produce la decalcificación de los extremos óseos y el hematoma fracturario se organiza dando lugar a la formación del callo fibroso (callo óseo primario o provisional). Esto se produce aproximadamente a las 3 semanas.
3. Normalización, formación de callo óseo secundario o definitivo: Durante esta etapa se produce el nuevo tejido óseo, también llamado hueso laminar. Es en este momento en que se produce la osteogénesis periférica y la osteogénesis medular, que se denomina osteogénesis intrafragmentaria. Esto dará como resultado la formación del callo óseo perióstico y endóstico antes descritos.

4. Remodelamiento: Esta etapa se produce mucho tiempo después de la formación de los callos perióstico y endóstico, se remodela la cortical y el canal medular, desapareciendo los callos internos (endóstico) y externo (perióstico), la cavidad medular se vuelve a abrir y la arteria medular se reconstruye.
5. Solidificación. En cambio, con el tratamiento quirúrgico el proceso se puede alterar ya que podemos realizar estabilización relativa o absoluta.

Para Joshi y cols¹⁰⁵, el conocimiento morfológico de los agujeros nutricios es significativamente importante para los cirujanos ortopédicos que realizan la reducción, sea ésta abierta o cerrada, para evitar dañar la arteria nutricia y así disminuir las posibilidades de retraso o no unión de la fractura. *En nuestros casos hubo un 100% de consolidación del foco de fractura independientemente del sitio de lesión, con y sin compromiso de la zona del agujero nutricional.*

Por lo tanto, las arterias nutricias deben mantenerse viables hasta que se complete el crecimiento e incluso después, ya que, éstas pasan a través de los agujeros nutricios y la posición de los agujeros nutricios en los huesos puede variar.

Tratamiento de la fractura

Respecto a las fracturas de la diáfisis tibial, diferentes autores como Ghafil¹⁰⁶ y Petrisor¹⁰⁷, afirman que son las más frecuentes las de los huesos largos del cuerpo humano.

Las fracturas segmentarias de la diáfisis tibial (FSDT) o con doble foco son entidades traumáticas que, según Teraa y cols¹⁰⁸, presentan una incidencia que varía de un 3% a un 12% de las fracturas que afectan la diáfisis de la tibia. Para autores como Eralp¹⁰⁹, Álvarez¹¹⁰ y Golubovic¹¹¹ este tipo de fracturas son causadas por traumas de alta energía, necesitan un mayor tiempo de consolidación, por lo cual se asocian a más complicaciones tanto inmediatas como tardías, afectan una amplia superficie de partes blandas asociando otras lesiones traumáticas; la mayoría de ellas son abiertas, siendo el foco proximal el que consolida más rápido.



En la evaluación clínica local se detecta deformidad en las fracturas cerradas, como así también lesiones que comunican el o los focos fracturarios; en las de tipo abiertas la afección se visualiza en la discontinuidad del manto cutáneo, *en la casuística analizada sólo un caso fue compatible con la clasificación AO-C2, no fue de tipo abierta.*

Figura 59: imagen radiográfica de una tibia con fractura segmentaria que compromete la zona del agujero nutricio. Servicio de Radiología, Hospital Universitario Nacional de Clínicas de Córdoba.

Es imprescindible, además, el examen neurovascular, con vistas a identificar estas lesiones de forma temprana y actuar para evitar complicaciones que justifiquen la amputación de la extremidad o la muerte del enfermo. Álvarez López¹¹², Gaebler¹¹³, McQueen¹¹⁴.

El tratamiento para pacientes que presentan FSDT no es simple, ya que se conjugan una serie de factores que no solo dependen de la fractura en sí, sino disponibilidad de medios de fijación y entrenamiento del cirujano.

Los métodos de tratamiento pueden ser conservadores o quirúrgicos, estos últimos son los preferidos para realizar el control de daños de estos enfermos según Connelly¹¹⁵, Monsell¹¹⁶ y Rommens¹¹⁷. El primero se asocia a magros resultados por la naturaleza de la lesión, de allí que las modalidades quirúrgicas son las más indicadas en estos enfermos para autores como Gutowski¹¹⁸, Penn-Barwell¹¹⁹ y Burns¹²⁰.

Para Ochsner¹²¹, Smith¹²², y Blachut¹²³, el enclavijamiento endomedular es la técnica más aceptada para el manejo quirúrgico desde hace años de las fracturas inestables de la diáfisis tibial, existe aún controversia sobre el fresado del canal. publicaba a fines de los '90 que el sistema de enclavijamiento no fresado mediante clavos de pequeño diámetro fue ideado para fracturas abiertas y con lesión importante de partes blandas, con el ánimo de proteger la circulación medular; así su uso en fracturas cerradas constituye una ampliación de la indicación quirúrgica y no existen muchos estudios en la literatura al respecto.

Al analizar la consolidación por tipo de clavo, es evidente la diferencia a favor del sistema fresado, para mostrar posteriormente similar comportamiento.

Finkemeir y cols¹²⁴ en su ensayo clínico con el sistema fresado y no fresado reportaron a los seis meses una consolidación del setenta y uno por ciento (71%) y del ochenta por ciento (80%) respectivamente.

Por su parte, Krettek y cols¹²⁵ publican un tiempo de consolidación promedio de 23 semanas con el sistema no fresado.

El **tratamiento quirúrgico**, para Reverte¹²⁶, Yavuz¹²⁷, Clement¹²⁸, puede ser mediante el uso de fijación externa, de forma transitoria o definitiva, placas subcutáneas y la fijación intramedular.

Las fracturas diafisarias de tibia no pueden ser tratadas mediante un simple conjunto de reglas. Debido a su propia localización la tibia está expuesta a lesiones frecuentes. Además, la irrigación de la tibia es más precaria que la de otros huesos que están rodeados de una musculatura importante. Las fracturas de alta energía pueden asociarse con síndromes compartimentales o con lesiones vasculares o nerviosas.

El **clavo endomedular** es un dispositivo de conducción de carga que permite la transmisión de ésta a través del foco de fractura. Es un método de fijación por medio de una férula interna, que produce una estabilidad relativa y por lo tanto permite que ocurra una consolidación de tipo secundario con formación de callo óseo. Añadiendo a esto el sistema de bloqueo aumenta la estabilidad de la fijación, ampliando con esto las indicaciones del enclavado para las fracturas de los extremos proximales y distales, lo que permite, también, tratar fracturas complejas, segmentarias e inclusive multifragmentadas.

La fijación de fracturas inestables, tratadas con enclavado endomedular, depende más de los pernos de bloqueo que de la fricción. El clavo endomedular cumple con el principio de un tutor intraóseo, cuyo objetivo es conducir o dirigir los fragmentos fracturados a la consolidación, ya que el implante impide su desplazamiento al chocar contra las corticales o el hueso esponjoso de los extremos, con lo que confiere cierto grado de estabilidad y compresión en el sitio de fractura. El clavo endomedular con pernos de bloqueo se puede utilizar en dos formas: cuando se fija de manera dinámica en el hueso, es decir, con un perno proximal en el orificio oval y dos en el extremo distal del clavo, alinea y estabiliza la fractura en sentido rotacional, angular y transversal, permitiendo compresión dinámica axial y dirigida, lo que constituye el principio de protección.

Cuando se fija de manera estática con dos pernos proximales y dos distales, alinea y estabiliza la fractura en todos los planos, ya que mantiene una distancia entre los extremos óseos, impidiendo la carga o soporte en el sitio de fractura, por lo que se suma el principio de sostén.

A estos sistemas se les puede aplicar compresión estática axial para el tratamiento de fracturas diafisarias transversales en húmero, fémur y tibia. Anteriormente se utilizaban clavos finos, los cuales no se bloqueaban, por lo que tenían la desventaja de cursar con inestabilidad rotatoria y longitudinal. Para lograr clavos bloqueables, se tuvo que diseñar un clavo más resistente y menos rígido, por lo que se cambió el uso de acero inoxidable por una aleación de Titanio.

El ***enclavado centromedular*** se considera el tratamiento de elección para el manejo de fracturas diafisarias de huesos largos. Al añadir pernos de bloqueo a los clavos aumenta la estabilidad mecánica y amplía sus indicaciones, ya que se puede usar en fracturas más proximales y distales, así como complejas e inestables, ya que con los bloqueos se previene el acortamiento.

El ***clavo bloqueado*** también está indicado para trazos oblicuos cortos o transversales de localización muy baja, en cuyo caso deben aplicarse dos pernos distales y uno proximal en el orificio oval, ya que se mantienen en contacto los fragmentos fracturados permitiendo la carga axial, con lo que se beneficia la consolidación, mientras que los pernos protegen la osteosíntesis de rotaciones excesivas.

El **bloqueo dinámico** en un solo extremo del clavo mejora la estabilidad rotacional y permite la compresión axial al cargar la extremidad. El bloqueo estático de ambos extremos del clavo proporciona control de la rotación y conserva la longitud, pero la carga es peligrosa hasta que la fractura esté puenteada; entonces, el clavo puede ser dinamizado al extraer el perno de bloqueo.

La **fijación intramedular**, según lo publicado por Gadegone y cols¹²⁹, Rose y cols¹³⁰, Townley y cols¹³¹, mediante clavos fresados o no es el tratamiento quirúrgico de elección por la mayoría de los autores consultados para la realización de este trabajo, las ventajas de este método radican en la mayor conservación posible de las partes blandas adosadas en el fragmento intermedio de la fractura, pero mediante esta modalidad se pueden detectar rotaciones y angulaciones del fragmento intermedio, que dificultan la consolidación ósea. Para la correcta colocación del clavo intramedular, en ocasiones es necesaria la aplicación de un distractor.

En el caso de la estabilización relativa (enclavado endomedular) el movimiento de los fragmentos incrementa la exudación de sustancias que en conjunto con las células y la neoformación de vasos llevan a la formación de un callo exuberante (callo perióstico), inhibiéndose la formación del callo endóstico. En la estabilización absoluta (placas y tornillos), la formación del callo perióstico se inhibe y se promueve la formación del callo endóstico, observándose una consolidación más lenta.

Según la literatura analizada, el método de osteosíntesis más empleado en estos casos es la fijación intramedular a cielo cerrado, la que permite una rápida incorporación al proceso de rehabilitación y evitar las complicaciones tardías en enfermos con fracturas de la diáfisis tibial como en nuestros casos. En nuestra experiencia, la variante quirúrgica con clavos intramedulares fresados acerrojados es cada vez más aceptada, transformándose en el tratamiento de elección debido a sus ventajas, excepto en casos de falta de disponibilidad de clavos endomedulares o quirófanos inadecuados.

Duan y cols¹³², en una revisión para Cochrane respecto a la utilización de clavos intramedulares fresados versus no fresados y sus resultados, incluyeron once (n=11) estudios con dos mil noventa y tres participantes (n=2093). Las pruebas estuvieron

dominadas por un gran ensayo multicéntrico con mil trescientos diecinueve participantes (n=1319). hubo deficiencias en los métodos de dos estudios, por lo que es probable que los resultados estén sesgados. Los estudios restantes tuvieron un riesgo de sesgo menor. Los ensayos evaluaron cinco comparaciones diferentes de intervenciones. En esta revisión sólo se informan las dos comparaciones examinadas en más de un ensayo. Las mismas incluyeron clavos intramedulares con fresado versus sin fresado, seis ensayos, y clavos de Ender versus clavos acerrojados, dos ensayos. La revisión no encontró pruebas de una diferencia significativa entre los clavos intramedulares con fresado y sin fresado en las reintervenciones en cuanto a las complicaciones, ni en varias complicaciones como la falta de consolidación (cuando el hueso no logra sanar). Sin embargo, los clavos con fresado se asociaron con mayor frecuencia con menos fracasos del implante, como la rotura de tornillos, en comparación con los clavos sin fresado. Además, hubo algunas pruebas débiles de que los clavos con fresado se pueden asociar con una reducción en las reintervenciones mayores debido a falta de consolidación cuando se utilizan para las fracturas cerradas (cuando la piel permanece intacta) en comparación con las fracturas abiertas (cuando hay daño en la piel). La revisión también encontró que los clavos de Ender dieron lugar a un aumento en las reintervenciones y a más deformidad (consolidación defectuosa) que los clavos acerrojados.

La revisión concluyó que no hay pruebas suficientes para establecer conclusiones definitivas sobre la mejor técnica de inserción de los clavos intramedulares para las fracturas de la diáfisis tibial en adultos.

En general, no hay pruebas suficientes para establecer conclusiones definitivas sobre el mejor tipo o técnica de inserción de los clavos intramedulares para las fracturas de la diáfisis tibial en adultos. Pruebas de calidad "moderada" indican que no hay diferencias claras en la tasa de reintervenciones mayores ni de complicaciones entre los clavos intramedulares con fresado y sin fresado. Sin embargo, los clavos intramedulares con fresado tienen una incidencia menor de fracaso del implante que los clavos sin fresado. Pruebas de calidad "baja" indican que los clavos con fresado pueden reducir la incidencia de reintervenciones mayores relacionadas con la falta de consolidación en las fracturas cerradas en lugar

de las fracturas abiertas. Pruebas de calidad "baja" indican que los clavos de Ender presentan resultados más deficientes en cuanto a las reintervenciones y la consolidación defectuosa en comparación con los clavos acerrojados.

En nuestro trabajo los pacientes operados fueron mayormente jóvenes en edad productiva sin factores de riesgo reportados de sexo masculino con accidentes especialmente en motocicletas, muchos de ellos en mínimas condiciones de seguridad, grupo sobre el cual deben recaer las actividades de orden preventivo. Existieron, igualmente, lesiones asociadas en un importante número de casos, denotando traumas de alta energía. El momento en el cual se realizaba el procedimiento y el número de días de hospitalización estuvo determinado básicamente por la demora en la consecución del material de osteosíntesis, la lesión de partes blandas y las lesiones asociadas; disponer de los elementos en el quirófano al ingreso del paciente permitiría una cirugía más precoz, disminuyendo los días de hospitalización y, por tanto, los costos. El tiempo quirúrgico y el de uso de intensificador de imagen es significativamente más corto en el sistema fresado, debido a la sencillez de la técnica. El apoyo fue precoz, producto de la estabilidad inherente al clavo.

Consideramos que el tratamiento de elección en las fracturas cerradas con indicación quirúrgica de la diáfisis de la tibia es el enclavijamiento endomedular fresado acerrojado, al llevar a una consolidación más temprana, con un apoyo más precoz y con menor necesidad de procedimientos quirúrgicos secundarios. Sin embargo, el sistema no fresado constituye una opción que puede tenerse en cuenta prestando gran atención a la técnica quirúrgica, en especial para la diáfisis distal, y a los signos de retardo en la consolidación que indiquen la necesidad de procedimientos secundarios para obtener la unión.

A modo de corolario, debemos recordar que en nuestra especialidad nos enfrenta diariamente con casos muy diversos. La complejidad del defecto, así como las condiciones generales del paciente, los recursos hospitalarios y por supuesto la habilidad y experiencia quirúrgica del cirujano, impulsarán la toma de decisiones. Es por ello que ampliar los conocimientos anatómicos es siempre enriquecedor,

dado que la información que aporta este estudio facilita la localización de la arteria nutricia en la práctica clínico-quirúrgica.

CONCLUSIONES

1. La anatomía de la diáfisis tibial fue descrita en un principio en forma rudimentaria, pero a partir de la anatomía contemporánea, todos concluyeron y coincidieron con los detalles anatómicos descritos en los textos, con la salvedad y diferencia entre las tibias teniendo en cuenta la altura y envergadura del individuo la que trae como consecuencia diferencia en el espesor y longitud.
2. La irrigación está dada en su mayoría, en casi todo el espesor óseo, de la tibia por una arteria nutricia que provee la nutrición endóstica hacia la periferia. En la parte exóstica del hueso, el periostio es el responsable de la irrigación y nutrición de la diáfisis de este hueso.
3. Mientras menor edad tenga el individuo, más importancia tiene la circulación endóstica.
4. Identificamos en veinte piernas (n=20) disecadas la arteria nutricia de la tibia y de dónde provenía, sus relaciones, y además demostramos que algunas arterias nutricias dan ramos colaterales de irrigación muscular.
5. Su entrada ósea en el foramen tiene una inclinación de arriba hacia abajo y de atrás hacia adelante, la arteria nutricia está protegida, en los casos disecados por una membrana fibrosa de forma triangular con inserción en los bordes del foramen, de color nacarado y hace de techo en la entrada de la arteria nutricia. Dicho hallazgo no se encuentra relatado en los libros de anatomía descriptiva ni de anatomía vascular revisados.
6. La arteria nutricia proviene en su mayoría el sesenta por ciento (60%) del tronco tibioperoneo, un porcentaje menor de la arteria tibial anterior veinte a veinticinco por ciento (20% y 25%), y un porcentaje del quince por ciento (15%) de la arteria tibial posterior, para especímenes cadavéricos y estudios

angiográficos, respectivamente similar a lo descritos en los artículos anatómicos actuales.

7. Los estudios anatómicos de disección, angiografías, fracturas, técnica quirúrgica realizada y consolidación de las lesiones de este estudio, nos permiten asegurar que la fractura sin desplazamiento o con desplazamiento menor a 2 mm en la región superior al foramen de entrada de la arteria nutricia tiene más posibilidades de consolidación que si la fractura se produce debajo de este, por dos razones, primero si la fractura es en la diáfisis inferior la arteria es lesionada conjuntamente con esta, y segundo que en la misma zona tiene menos inserciones musculares por lo que se traduce en una disminución de aporte vascular y un menor índice de curación luego de una lesión fracturaría en esta región.
8. Las fracturas desplazadas producen la ruptura de la arteria nutricia a cualquier nivel por lo que la circulación se invierte y toma un papel fundamental el periostio, quien con la llegada de sangre que le proveen sus inserciones musculares, la transmite a la zona fracturada lo que permite la reparación ósea, a su vez es de vital importancia no evacuar el hematoma primario post-fracturario por lo que se condice con otros autores que la regla de oro en el tratamiento de todas las fracturas diafisarias cerradas desplazadas, es el clavo intramedular sin apertura del foco de lesión independientemente de la clasificación de ésta.
9. En los casos quirúrgicos de este trabajo, seleccionados y sin factores de riesgo, se llegó al 100% de la consolidación ósea a los 6 meses, por lo cual el clavo intramedular acerrojado fue de elección independientemente de la localización de la fractura con o sin compromiso del agujero nutricio tibial.

BIBLIOGRAFÍA

- ¹ Blickhan R, Seyfarth A, Geyer H, Grimmer S, Wagner H, Günther M. Intelligence by mechanics. *Philos Transact A Math Phys Eng Sci* 2007; 365:199-220.
- ² Latarjet. Ruiz Liar 4º Edición. Editorial Médica Panamericana junio 2009. Tomo I. pag 682
- ³ Glorieux FH, Jueppner HW, Pettifor JM. *Pediatric Bone*. Elsevier: Academic Press; Ch. 3.
- ⁴ Bognadov K. *Biology in Physics*. Elsevier: Academic Press; 2000. Ch. 7.
- ⁵ Netter, F.H. *Atlas de Anatomía Humana*. Novartis-Masson.1999.
- ⁶ Joseph Borrelli, Clasificación AO de Müller de las fracturas de los huesos largos; pp13-14; 2008 St Louis, USA “<https://www.aofoundation.org/Structure/education/online-cme/Pages/eLearning.aspx>”
- ⁷ Testut, Latarjet: *Anatomía Descriptiva*. Tomo4. 9º edición.
- ⁸ Schmidt AH, Finkemeier CG, Tornetta P: Treatment of closed tibial fractures. *J Bone Joint Surg Am* 2003; 85(2): 352-368.
- ⁹ Toivonem JA. The management of closed tibial shaft fractures. *Curr Orthop* 2003; 17(3):161-6.
- ¹⁰ Bhandari M, Guyatt GH, Swiontkowski MF. Treatment of open fractures of the shaft of the tibia. *J Bone Joint Surg Am* 2001; 83(1):62-8.
- ¹¹ Konstas A, Tzimoukos G, Papadopoulos G, Grizelis X. The evaluation of the results of intramedullary nailing with reaming for the management of closed tibial fractures. *J Bone Joint Surg Br* 2004; 86(Suppl II). Disponible en: https://online.boneandjoint.org.uk/doi/abs/10.1302/0301-620X.86BSUPP_II.0860177a
- ¹² Villanueva AD, Soria ES. Tratamiento de las fracturas diafisarias de la tibia con enclavamiento a foco cerrado. *Rev Mex Ortop Traum* 1994; 8(1): 1-5.
- ¹³ Bhandari M, Guyatt GH, Tornetta P, Swiontkowski MF, Hanson B: Current practice in the intramedullary nailing of the tibial shaft fractures: an international survey. *J Trauma* 2002; 53(4): 725-732.
- ¹⁴ Lang, GJ. Knee and leg: bone trauma. En: Koval KJ. *Orthopaedic Knowledge Update 7*. Am Acad Orthop Surg 2002; pp483-87.
- ¹⁵ Russell TA, Taylor JC, LaVelle DG. Fractures of the tibia and fibula. En: Rockwood CA, Green DP, Bucholz RW. *Rockwood and Green's fractures in Adults*. 3 ed. Philadelphia: JB Lippincott; 1991; pp1915-66.
- ¹⁶ Bhandari M, Guyat GH, Swiontkowski MF. The Orthopaedic Forum. Surgeon's preferences for the operative treatment of fractures of the tibial shaft. An International Survey. *J Bone Joint Surg Am* 2002; 81(12):1746-52.
- ¹⁷ Pancorbo Sandoval E, Delgado Quiñones A, Martín Tirado J, Hernández Hernández J, Díaz Prieto G, Quesada Pérez J. Tratamiento de la

-
- pseudoartrosis de los huesos largos mediante fijación externa. *Rev Cubana Ortop Traumatol* 2010; 24(2):44-56. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-215X2010000200004&script=sci_arttext
- ¹⁸ Gutiérrez Blanco MO, Leyva Basterrechea F, Álvarez López A. Retardo de consolidación y pseudoartrosis de la tibia. *Rev Cubana Med Mil* 2009; 38(1). Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/mil/v38n1/mil08109.pdf>
- ¹⁹ Gutiérrez Blanco M, Álvarez López A, García Lorenzo Y. Tratamiento de las fracturas abiertas de tibia con pérdida de tejido óseo. *AMC* 2009; 13(4). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1025-02552009000400010&script=sci_arttext
- ²⁰ Alsousou J, McDonnell SM, Elo J. A simple cost effective technique for soft tissue protection during intramedullary nailing of the tibia. *Acta Orthop Belg* 2010; 76(6): 827-9.
- ²¹ Ehlinger M, Adam P, Gabrion A, Jeunet L, Dujardin F, Asencio G. Distal quarter leg fractures fixation: The intramedullary nailing alone option. *Orthop Traumatol Surg Res* 2010; 96(6): 674-82.
- ²² Amarathunga JP, Schuetz MA, Yarlagaadda PK, Schmutz B. Automated fit quantification of tibial nail designs during the insertion using computer three-dimensional modelling. *Proc Inst Mech Eng H* 2014; 228(12): 1227-34.
- ²³ Picek, F. Open fractures of the tibial shaft. Method of treatment. *J Bone Joint Surg Br* 2002; 84(suppl 2): 127.
- ²⁴ Gadegone WM, Salphale YS. Dynamic osteosynthesis by modified Kuntscher nail for the treatment of tibial diaphyseal fractures. *Indian J Orthop* 2009; 43(2): 182-8.
- ²⁵ Rose DM, Smith TO, Nielsen D, Hing CB. Expandable intramedullary nails in lower limb trauma: a systematic review of clinical and radiological outcomes. *Strategies Trauma Limb Reconstr* 2013; 8(1): 1-12.
- ²⁶ Townley WA, Nguyen DQ, Rooker JC, Dickson JK, Goroszeniuk DZ, Khan MS, et al. Management of open tibial fractures - a regional experience. *Ann R Coll Surg Engl* 2010; 92(8): 693-6.
- ²⁷ Sigurdson U, Reikeras O, Utvag SE. The Effect of timing of conversion from external fixation to secondary intramedullary nailing in experimental tibial fractures. *J Orthop Res* 2011; 29(1): 126-30.
- ²⁸ Kreb DL, Blokhuis TJ, van Wessem KJ, Bemelman M, Lansink KW, Leenen LP. Intramedullary nailing without interlocking screws for femoral and tibial shaft fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 2013; 133(8):1109-13.
- ²⁹ Jafarinejad AE, Bakhshi H, Haghnegahdar M, Ghomeishi N. Malrotation following reamed intramedullary nailing of closed tibial fractures. *Indian J Orthop* 2012; 46(3): 312-6.

-
- ³⁰ Tejwani N, Polonet D, Wolinsky PR. Controversies in the intramedullary nailing of proximal and distal tibia fractures. *J Am Acad Orthop Surg* 2014; 22(10): 665-73.
- ³¹ Opitz, JM. Goethe's Bone and the Beginnings of Morphology. *Am J Med Genet* 2004; 1:1-8.
- ³² Vargas A, López M, Lillo C, Vargas MJ. The Edwin Smith papyrus in the history of medicine. *Rev Med Chil* 2012; 140(10): 1357-62.
- ³³ Haas, LF. Papyrus of Ebers and Smith. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1999; 67(5): 578.
- ³⁴ Gordetsky J, O'Brien J. Urology and the Scientific Method in Ancient Egypt. *Urology* 2009; 3: 476-479.
- ³⁵ Spiegel AD, Springer CR. Babylonian Medicine, Managed Care and Codex Hammurabi, Circa 1700 B.C. *J Community Health* 1997; 1: 69-89.
- ³⁶ Mehta, L. Ethical Basis for Charging Medical Fees. *Issues Med Ethics* 2000; 2: 49-50.
- ³⁷ Dwivedi G, Dwivedi S. Sushruta – the Clinician – Teacher par Excellence. *Indian J Chest Dis Allied Sci* 2007; 49: 243-244.
- ³⁸ Putnam, E. *Filosofía y Medicina*. Buenos Aires: Ed. López Negri; 1953. p.72
- ³⁹ Castiglioni, A. Andreas Vesalius: Professor at the Medical School of Padua. *Bull N Y Acad Med* 1943; 11: 766-777.
- ⁴⁰ Holomanova A, Ivanova A, Brucknerova I, Benuska J. Andreas Vesalius: the Reformer of Anatomy. *Bratisl Lek Listy* 2001; 1: 48-54.
- ⁴¹ Ferrando Gilabert, N. gastrulación. Reproducción Asistida ORG. Revista oficial ISSN 2341-1104 gestionada por DCIP Consulting SL. Disponible en: <https://www.reproduccionasistida.org/gastrulacion/>
- ⁴² Pawlina W, Kaye GI, Ross MH. *Histología: texto y atlas color con biología celular y molecular*. Buenos Aires, Argentina. Editorial Médica Panamericana. 2004.
- ⁴³ Brüel A, Christensen EI, Trantum-Jensen J, Qvortrup K, Geneser F. *Geneser Histología*. Buenos Aires, Argentina. Editorial Médica Panamericana. 2000.
- ⁴⁴ Gamboa Márquez A, Alexander Garzón-Alvarado D. Factores mecánicos en enfermedades osteocondrales. Origen de los huesos. *Rev Cubana Invest Biomed* 2011; 30(1): 174-193.
- ⁴⁵ Bognadov K. *Biology in Physics*. Elsevier: Academic Press; 2000. Ch. 7.
- ⁴⁶ Villemure I, Stokes IA. Growth plate mechanics and mechanobiology. a survey of present understanding. *J Biomechanics* 2009; 42:1793-1803.
- ⁴⁷ Shapiro, F. *Pediatric Orthopedic Deformities*. Elsevier Orlando, Florida Academic Press; 2000. Ch. 3
- ⁴⁸ Shefelbine, SJ. Mechanical regulation of bone growth fronts and growth plates. Poster Session, 47th Annual Meeting Orthopaedic Research Society, February 25-28, 2001, San Francisco, California Stanford University; 2001. Disponible en: <http://www.ors.org/Transactions/47/0350.pdf>

-
- ⁴⁹ Eynard AR, Valentich MA, Rovasio RA. Histología y embriología del ser humano: bases celulares y moleculares, 5º Edición. Cap 2. Editorial Médica Panamericana, 2016.
- ⁵⁰ Borrelli, J. Clasificación AO de Müller de las fracturas de los huesos largos; 13-14;2008 St Louis, USA "<https://www.aofoundation.org/Structure/education/online-cme/Pages/eLearning.aspx>".
- ⁵¹ Canale ST, Beaty JH, Frederick MA. Campbell Cirugía Ortopédica. Edit. Elsevier.13º edición. Tomo 2. Madrid. España. 2010. pp2703-2724
- ⁵² Lara Galindo, Salvador de. Manual de técnicas de disección. México, Edit. Harla, 1987; pp218
- ⁵³ Borrelli, J. Clasificación AO de Müller de las fracturas de los huesos largos; 13-14;2008 St Louis, USA, 2008; pp13-14.
- ⁵⁴ Canale S. Terry, Beaty James; Campbell Cirugía Ortopédica. 13º edición. Tomo 2. Madrid. España. Edit. Elsevier. 2010; pp2703-2724.
- ⁵⁵ Anglen J. Comparison of soap and antibiotic solutions for irrigation of lower-limb open fracture wounds. A prospective, randomized study. J Bone Joint Surg Am 2005; 87: 141-22.
- ⁵⁶ Bucholz RW, Heckman JD. Rockwood & Green Fracturas en el adulto tomo 3. Fracturas de la tibia y del peroné, quinta edición, 2003, editorial Marbán Libros, Cap 46.
- ⁵⁷ Court-Brown CM, McBirnie J: The epidemiology of tibial fractures. J Bone Joint Surg 1995; 77B: 417-421.
- ⁵⁸ Ben-Galim P, Rosenblatt Y, Parnes N, et al, Intramedullary fixation of tibial shaft fractures using an expandable nail. Clin Orthop Relat Res. 2006; 455: 234-240.
- ⁵⁹ Bong MR, Kummer FJ, Koval KH, Kenneth AE. El enclavado intramedular en las extremidades inferiores: biomecánica y biología. J Am Acad Orthop Surg (Ed. Esp) 2007; 6: 131-140.
- ⁶⁰ ISSM, Guía de Práctica Clínica Diagnóstico y tratamiento de fractura de la Diáfisis de Tibia, México; Instituto Mexicano del Seguro Social, 2010. "<http://www.imss.gob.mx/profesionales/guiasclinicas/Pages/guias.aspx>"
- ⁶¹ Cormack GC, Lamberty BGH. The arterial anatomy of skin flaps. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1986.
- ⁶² Morrison WA, Shen TY. Anterior tibial artery flap: anatomy and case report. Br J Plast Surg. 1987; 40(3):230-5.
- ⁶³ Taylor GI, Palmer JH. The vascular territories (angiosomes) of the body: experimental study and clinical applications. Br J Plast Surg. 1987; 40(2): 113-41.
- ⁶⁴ Daya, M. Peroneal artery perforator chimeric flap: changing the perspective in free fibula flap use in complex oromandibular reconstruction. J Reconstr Microsurg 2008; 24(6): 413-8.

-
- ⁶⁵ Koshima I, Moriguchi T, Ohta S, Hamanaka T, Inoue T, Ikeda A. The vasculature and clinical application of the posterior tibial perforator-based flap. *Plast Reconstr Surg* 1992; 90(4): 643-9.
- ⁶⁶ Yoshimura M, Shimada T, Hosokawa M. The vasculature of the peroneal tissue transfer. *Plast Reconstr Surg*. 1990; 85(6): 917-21.
- ⁶⁷ Hung LK, Lao J, Ho PC. Free posterior tibial perforator flap: anatomy and a report of 6 cases. *Microsurgery* 1996; 17(9): 503-11.
- ⁶⁸ Wolf KD. Peroneal Artery Perforator Flap. En: Blondeel P, editor. *Perforator flaps: Anatomy, Technique, and Clinical Applications*. Vol 2. 1^a ed. St. Louis, Missouri: Quality Medical Publishing; 2006; pp707-717
- ⁶⁹ Carriquiry C, Aparecida Costa M, Vasconez LO. An anatomic study of the septocutaneous vessels of the leg. *Plast Reconstr Surg* 1985; 76: 354-363.
- ⁷⁰ Lykoudis EG, Koutsouris M, Lykissas MG. Vascular Anatomy of the Integument of the lateral lower leg: An anatomical study focused on cutaneous perforators and their clinical importance. *Plast Reconstr Surg* 2011; 128: 188-98.
- ⁷¹ Wu WC, Chang YP, So YC, Yip SF, Lam YL. The anatomic basis and clinical applications of flaps based on the posterior tibial vessels. *Br J Plast Surg* 1993; 46(6): 470-9.
- ⁷² Koshima I, Sugiyama N, Ushio S, Fujitsu M. Anterior Tibial Artery Perforator Flaps. En: Blondeel P, editor. *Perforator flaps: Anatomy, Technique, and Clinical Applications*. Vol2. 1^a ed. St. Louis, Missouri: Quality Medical Publishing; 2006; pp720-729.
- ⁷³ John, JR. Subfascial directionality of perforators of the distal lower extremity: an anatomic study regarding selection of perforators for 180-degree propeller flaps. *Ann Plast Surg* 2014; 72(2): 261-2.
- ⁷⁴ Kizilkanat E, Boyan N, Ozsahin ET, Soames R, Oguz O. Location, number and clinical significance of nutrient foramina in human long bones. *Ann Anat*. 2007; 189(1): 87-95.
- ⁷⁵ López Prats F, Gutiérrez Carbonel P. Osteonecrosis - Osteocondrosis. capítulo 35. En: Forriol Campos y cols; *Sociedad Española de Cirugía Ortopédica y Traumatológica. Manual de Cirugía Ortopédica y Traumatología, 2º Edición*. Tomo I. Editorial Panamericana, Buenos Aires, 2010.
- ⁷⁶ Barret KE, Barman SM, Boitano S, Brooks HL. *Ganong. Fisiología Médica*. 23º Edición, Editorial McGraw Hill Interamericana Editores SA de CV, México, 2010, pp522.
- ⁷⁷ Mast, BA. Comparison of magnetic resonance angiography and digital subtraction angiography for visualization of lower extremity arteries. *Ann Plast Surg*. 2001; 46(3): 261-4.
- ⁷⁸ Fischer LP, Carret JP, Gonon GP. Arterial vascularization of the tibia in the adult. *Bull Assoc Anat (Nancy)* 1975; 59(167): 863-75.

-
- ⁷⁹ Menck J, Bertram C, Lierse W, Wolter D. The arterial blood supply of the tibial and practical consequences. *Langenbecks Arch Chir* 1992; 377(4): 229-34.
- ⁸⁰ Hallock GG, Anous MM, Sheridan BC. The surgical anatomy of the principal nutrient vessel of the tibia. *Plast Reconstr Surg* 1993; 92(1):4 9-54.
- ⁸¹ Oni OO, Stafford H, Gregg PJ. An investigation of the routes of venous drainage from the bone marrow of the human tibial diaphysis. *Clin Orthop Relat Res* 1988; 230: 237-44.
- ⁸² Schaverien M, Saint-Cyr M. Perforators of the lower leg: Analysis of perforator locations and clinical application for the pedicled perforator flaps. *Plast Reconstr Surg* 2008; 122:161-70.
- ⁸³ Hung LK, Zhao X. Posterior Tibial Artery Perforator Flap. En: Blondeel P, editor. *Perforator flaps: Anatomy, Technique, and Clinical Applications*. Vol 2. 1^a ed. St. Louis, Missouri: Quality Medical Publishing; 2006; pp689-705
- ⁸⁴ Heitmann C, Khan FN, Levin LS. Vasculature of the peroneal artery. An anatomic study focused on the perforator vessels. *J Reconstr Microsurg*. 2003; 19: 157-162.
- ⁸⁵ Collipal E, Vargas R, Parra X, Silva H, del Sol M. Diaphyseal Nutrient Foramina in the Femur, Tibia and Fibula Bones. *J International Journal of Morphology* 2007; 25(2): 305-308.
- ⁸⁶ Longia GS, Ajmani ML, Saxena SK, Thomas RJ. Study of diaphyseal nutrient foramina in human long bones. *Acta Anat* 1980; 107: 399-406.
- ⁸⁷ Kirschner MH, Menck J, Hennerbichler A, Gaber O, Hofmann GO. Importance of arterial blood to the femur and tibia for transplantation of vascularized femoral diaphyses and knee joints. *World J Surg* 1998; 22: 845-52.
- ⁸⁸ Mysorekar, VR. Diaphysial nutrient foramina in human long bones. *J Anat* 1967; 101: 813-22.
- ⁸⁹ Gómez Pellico L, Forriol CF, Gianonatti AM. Comportamiento estadístico de la morfología externa de algunos huesos largos del esqueleto. *Anales de Anatomía Normal* 1988; 6: 188-193.
- ⁹⁰ Schwalbe G. *Z Anat Entwicklungsgeschichte*. 1876; 1: 307-352.
- ⁹¹ Hughes, H. The factors determining the direction of the canal for the nutrient artery in the long bones of mammals and birds. *Acta Anat (Basel)* 1952; 15: 261-280.
- ⁹² Patake SM, Mysorekar VR. Diaphysial nutrient foramina in human metacarpals and metatarsals. *J Anat* 1977; 124:299-304.
- ⁹³ Mysorekar, VR. Diaphysial nutrient foramina in human long bones. *J Anat* 1967; 101: 813-822.
- ⁹⁴ Henderson, RG. The position of the nutrient foramen in the growing tibia and femur of the rat. *J Anat* 1978; 125: 593-599.
- ⁹⁵ Lacroix, P. *The organization of bones*. London: J. & A. Churchill, 1951.

-
- ⁹⁶ Kizilkanat E, Boyan N, Ozsahin ET, Soames R, Oguz O. Location, number and clinical significance of nutrient foramina in human long bones. *Ann Anat* 2007; 189: 87-95.
- ⁹⁷ Longia GS, Ajmani ML, Saxena SK, Thomas RJ. Study of diaphyseal nutrient foramina in human long bones. *Acta Anat (Basel)* 1980; 107: 399-406.
- ⁹⁸ Prashanth K, Murlimanju B, Prabhu LV, Chettiar GK, Pai MM, Dhananjaya K. Morphological and topographical anatomy of nutrient foramina in the lower limb long bones and its clinical importance. *Australas Med J* 2011; 4:530-7.
- ⁹⁹ Pereira GAM, Lopes PTC, Santos AMPV, Silveira FHS. Nutrient foramina in the upper and lower limb long bones: morphometric study in bones of southern Brazilian adults. *Int J Morphol* 2011; 29:514-20.
- ¹⁰⁰ Nagel, A. The clinical significance of the nutrient artery. *Orthop Rev* 1993; 22: 557-61.
- ¹⁰¹ Nelson Jr GE, Kelly PJ, Peterson LF, Janes JM. Blood supply of the human tibia. *J Bone Joint Surg Am* 1960; 42-A: 625-36.
- ¹⁰² Crock, HV. The blood supply of the lower limb bones in man. Descriptive and applied. Edinburgh: Livingstone; 1967.
- ¹⁰³ Hallock GG, Anous MM, Sheridan BC. The surgical anatomy of the principal nutrient vessel of the tibia. *Plast Reconstr Surg* 1993; 92:49-54.
- ¹⁰⁴ Forriol Campos F, Gomez Pellico L, Gianonatti Alias M, Fernandez-Valencia R. A study of the nutrient foramina in human long bones. *Surg Radiol Anat* 1987; 9:251-5.
- ¹⁰⁵ Joshi H, Doshi B, Malukar O. A study of the nutrient foramina of the humeral diaphysis. *NJIRM* 2011; 2: 14-17.
- ¹⁰⁶ Ghafil D, Ackerman P, Baillon R, Verdonk R, Delince P. Expandable intramedullary nails for fixation of tibial shaft fractures. *Acta Orthop Belg* 2012; 78(6): 779-85.
- ¹⁰⁷ Petrisor BA, Bhandari M, Schemitsch E. Tibia and Fibula Fractures. En: Bucholz RW, Heckman JD, Court Brown CM, Tornetta P, editors. *Rockwood and Green's Fractures in Adults*. 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams Wilkins; 2010. pp1868-1926.
- ¹⁰⁸ Teraa M, Blokhuis TJ, Tang L, Leenen LP. Segmental tibial fractures: an infrequent but demanding injury. *Clin Orthop Relat Res*. 2013; 471(9): 2790-96.
- ¹⁰⁹ Eralp L, Kocaoglu M, Polat G, Bas A, Dirican A, Azam ME. A comparison of external fixation alone or combined with intramedullary nailing in the treatment of segmental tibial defects. *Acta Orthop Belg* 2012; 78(5): 652-9.
- ¹¹⁰ Álvarez López A, García Lorenzo Y. Fracturas cerradas de la diáfisis tibial. *Acta Ortopédica Mex* 2005; 19(3): 122-7.

-
- ¹¹¹ Golubovic I, Vukašinovic Z, Stojiljkovic P, Golubovic Z, Stamenic S, et al. Open segmental fractures of the tibia treated by external fixation. *Srp Arh Celok Lek* 2012; 140(11-12): 732-7.
- ¹¹² Álvarez López A, García Lorenzo Y. Fractura abierta de la tibia: aspectos básicos. *AMC* 2011; 15(2): 388-99.
- ¹¹³ Gaebler C, McQueen MM, Vécsei V, Court-Brown CM. Reamed versus minimally reamed nail-ing: a prospectively randomised study of 100 patients with closed fractures of the tibia. *Injury* 2011; 42(Suppl 4): S17-21.
- ¹¹⁴ McQueen MM, Duckworth AD, Aitken SA, Court-Brown CM. The estimated sensitivity and specificity of compartment pressure monitoring for acute compartment syndrome. *J Bone Joint Surg Am* 2013; 95(8): 673-7.
- ¹¹⁵ Connelly CL, Bucknall V, Jenkins PJ, Court-Brown CM, McQueen MM, Biant LC. Outcome at 12 to 22 years of 1502 tibial shaft fractures. *Bone Joint J* 2014; 96-B(10): 1370-7.
- ¹¹⁶ Monsell FP, Howells NR, Lawniczak D, Jeffcote B, Mitchell SR. High-energy open tibial fractures in children: treatment with a programmable circular external fixator. *J Bone Joint Surg Br* 2012; 94(7): 989-93.
- ¹¹⁷ Rommens PM, El Attal R, Hansen M, Kuhn S. Intramedullary nailing of proximal tibia fractures. *Oper Orthop Traumatol* 2011; 23(5): 411-22.
- ¹¹⁸ Gutowski C, Abrams JS, Gutowski WT. Diagnosing segmental wedge fracture of the tibia before performing intramedullary nailing. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 2013; 42(8): 369-71.
- ¹¹⁹ Penn-Barwell JG, Myatt RW, Bennett PM, Sargeant ID. Medium-term outcomes following limb salvage for severe open tibia fracture are similar to trans-tibial amputation. *Injury* 2015; 46(2): 288-91.
- ¹²⁰ Burns TC, Stinner DJ, Mack AW, Potter BK, Beer R, Eckel TT, et al. Microbiology and injury characteristics in severe open tibia fractures from combat. *J Trauma Acute Care Surg.* 2012; 72(4):1062-7.
- ¹²¹ Ochsner P. Heat-induced segmental necrosis after reaming of one humeral and two tibial fractures with a narrow medullary canal. *Injury* 1998; 29(Suppl 2): SB6-SB8.
- ¹²² Smith, JEM. Results of early and delayed internal fixation for tibial shaft fractures. *J Bone Surg* 1974; 56B: 469-477.
- ¹²³ Blachut PA, O'Brien PJ, Meek RN. Interlocking intramedullary nailing with and without reaming for the treatment of closed fractures of the tibial shaft. A prospective, randomized study. *J Bone Joint Surg* 1997; 79A: 640-646.
- ¹²⁴ Finkemeier CG1, Schmidt AH, Kyle RF, Templeman DC, Varecka TF. A prospective, randomized study of intramedullary nails inserted with and without reaming for the treatment of open and closed fractures of the tibial shaft. *J Orthop Trauma* 2000; 14(3): 187-93.

-
- ¹²⁵ Krettek C, Schandelmaier P, Tscherne H, Nonreamed Interlocking Nailing of Closed Tibial Fractures With Severe Soft Tissue Injury. *Clinical Orthopaedics* 1995; 315: 34-47.
- ¹²⁶ Reverte MM, Dimitriou R, Kanakaris NK, Giannoudis PV. What is the effect of compartment syndrome and fasciotomies on fracture healing in tibial fractures? *Injury* 2011; 42(12): 1402-7.
- ¹²⁷ Yavuz U, Sökücü S, Demir B, Yıldırım T, Özcan C, Kabukçuoğlu YS. Comparison of intramedullary nail and plate fixation in distal tibia diaphyseal fractures close to the mortise. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg* 2014; 20(3): 189-93.
- ¹²⁸ Clement ND, Beauchamp NJ, Duckworth AD, McQueen MM, Court-Brown CM. The outcome of tibial diaphyseal fractures in the elderly. *Bone Joint J* 2013; 95-B(9): 1255-62.
- ¹²⁹ Gadegone WM, Salphale YS. Dynamic osteo-synthesis by modified Kuntscher nail for the treatment of tibial diaphyseal fractures. *Indian J Orthop* 2009; 43(2): 182-8.
- ¹³⁰ Rose DM, Smith TO, Nielsen D, Hing CB. Expandable intramedullary nails in lower limb trauma: a systematic review of clinical and radiological outcomes. *Strategies Trauma Limb Reconstr* 2013; 8(1): 1-12.
- ¹³¹ Townley WA, Nguyen DQ, Rooker JC, Dick-son JK, Goroszeniuk DZ, Khan MS, et al. Management of open tibial fractures - a regional experience. *Ann R Coll Surg Engl* 2010; 92(8): 693-6.
- ¹³² Duan X, Al-Qwabani M, Zeng Y, Zhang W, Xiang Z. Clavos intramedulares para las fracturas de la diáfisis tibial en adultos. *Cochrane Database of systematic reviews* 2012 issue 1. Art. No.: CD008241. DOI: 10.1002/14651858.CD008241