



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD
LEÓN**

**TEMA: INTERVENCIÓN FISIOTERAPÉUTICA DE LA
PSEUDOARTROSIS EN EL PACIENTE GERIÁTRICO**

FORMA DE TITULACIÓN: TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN FISIOTERAPIA

P R E S E N T A:

LAURA MICHELL CENTENO RUIZ

**TUTOR: MTRA. ADRIANA DEL CARMEN ECHEVARRÍA
GONZÁLEZ**

LEÓN, GUANAJUATO

2019





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Con especial y profundo agradecimiento a:

La Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León.

A la Licenciatura en Fisioterapia.

Al programa de Becarios Manutención (PRONABES).

A mi tutora, Mtra. Adriana del Carmen Echevarría González. Gracias por los conocimientos, el tiempo y la paciencia.

A cada uno de los docentes, que nos alentaron a ser siempre mejores.

A mis padres y hermano, por siempre apoyarme.

A Dennisse, Fernanda, Alexandra, Mónica, Héctor, Maximiliano, Félix y Francisco, por su compañía y momentos compartidos durante esta etapa.

“La edad no es un analgésico.”

Dr. Stephen W. Harkins

ÍNDICE

I) Resumen	01
II) Introducción	02
III) Planteamiento del problema	03
IV) Pregunta de investigación	04
V) Hipótesis	04
VI) Justificación	05
VII) Objetivos	06
VIII) Antecedentes	07
IX) Marco teórico	09
1.- Generalidades de la anatomía ósea.....	09
1.1.- Histología ósea.....	11
1.2.- Proceso de osificación.....	12
2.- Consolidación ósea.....	12
2.1.- Consolidación Cortical/Primaria.....	12
2.2.- Consolidación Secundaria.....	13
2.3.- Propiedades Piezoeléctricas del tejido óseo.....	13
3.- Consideraciones en el paciente geriátrico.....	15
3.1.- Cambios musculoesqueléticos.....	16
3.2.- Patologías óseas.....	16
3.3.- Síndromes geriátricos.....	17
4.- Trastornos de la consolidación: Pseudoartrosis	18
5.- Clasificación y valoración.....	20

6.- Etiopatogenia.....	22
7.- Epidemiología.....	23
8.- Tratamiento.....	24
8.1.- Tratamiento Conservador.....	24
8.2.- Tratamiento Quirúrgico.....	24
8.3.- Tratamiento Biológico.....	26
8.4- Tratamiento basado en el Concepto del diamante.....	27
X) Material y métodos.....	30
XI) Resultados.....	31
Estimulación eléctrica.....	31
Electromagnetismo.....	33
Ultrasonido terapéutico.....	35
Ondas de choque.....	38
XII) Discusión.....	44
XIII) Conclusiones.....	48
XIV) Referencias.....	49

I) RESUMEN

Introducción: Los trastornos de la consolidación (TC) suponen una de las principales problemáticas ortopédicas, ya que generan complicaciones para el tratamiento, que se torna más complejo y prolongado. Se estima que aproximadamente un 5% de las fracturas cursará con algún TC, independientemente de la causa, la edad es uno de los predisponentes más importantes. Dentro de los TC más comunes se encuentra la pseudoartrosis, en un gran porcentaje no se logra el éxito terapéutico, es decir, la unión completa del o de los fragmentos afectados. Un problema de pseudoartrosis en la población geriátrica puede traducirse en una importante pérdida de la independencia funcional y un deterioro del estado general de salud, además de que algunos factores como la polifarmacia, cambios degenerativos normales o la prevalencia de enfermedades crónico-degenerativas complican aún más el proceso de recuperación. Actualmente, las modalidades de tratamiento médicos se componen en su mayoría de intervenciones invasivas (injertos óseos, plasma rico en plaquetas y sistemas de fijación). Otras modalidades son menos descritas en la literatura, siendo la fisioterapia una disciplina que puede brindar alternativas de tratamiento por si misma o complementaria a las intervenciones médicas.

Objetivo: Identificar los métodos actuales de intervención fisioterapéutica para el tratamiento de la pseudoartrosis en pacientes geriátricos.

Metodología: Se realizó una revisión bibliográfica en las bases de datos: PubMed Central, BioMed Central, SciELO, Google Scholar, Elsevier y PEDro, utilizando las palabras clave: Pseudoartrosis, Fisioterapia, Adulto mayor y Trastorno de la consolidación. Se incluyeron aquellos artículos que mencionaran tratamiento fisioterapéutico de los trastornos de la consolidación, que estuviesen escritos en idioma inglés y/o español y con fechas de publicación entre los años 2000 y 2017. Se excluyeron aquellos artículos cuya intervención fuera basada solamente en el tratamiento médico y que en sus estudios no se incluyeran pacientes mayores de 55 años.

Resultados: Se obtuvieron un total de 253 artículos, de los cuales tras los procesos de eliminación y exclusión se analizaron finalmente 30 artículos. La bibliografía refiere en su mayoría tratamientos quirúrgicos, además son pocos los artículos que tiene a la población geriátrica como objeto de estudio. La escasa evidencia sobre la intervención fisioterapéutica se basa mayormente en intervenciones mediante agentes físicos, tales como: ultrasonido terapéutico y estimulación eléctrica. También se ha reportado como opción terapéutica el tratamiento mediante ondas de choque, produciendo resultados más alentadores que los citados anteriormente.

Conclusión: La intervención fisioterapéutica puede ser un buen complemento en el tratamiento de la pseudoartrosis y de otros TC mediante técnicas no invasivas utilizando principalmente agentes físicos que se encuentran sustentados científicamente como coadyuvantes en los procesos de reparación ósea. Queda todavía la necesidad de realizar más estudios en la población geriátrica para que se obtengan resultados más conclusivos.

II) INTRODUCCIÓN

Después de que ocurre una lesión que involucre la continuidad e integridad del tejido óseo comienza inmediatamente una cascada de reacciones en las cuales se encuentran involucrados ciertos mediadores bioquímicos que posteriormente cumplirán un papel fundamental para que la reparación del tejido óseo dañado se lleve a cabo de manera exitosa en tiempo y forma, sin embargo, durante este proceso de reparación se pueden presentar ciertas complicaciones o errores que provocarán una incorrecta restauración de dicho tejido dañado. A estas complicaciones que alteran el proceso de reparación ósea se les conoce como trastornos de la consolidación (TC).

Dentro de los TC más comunes podemos encontrar el retardo de la consolidación ósea, la pseudoartrosis y la consolidación viciosa. Cabe resaltar que estos términos se han llegado a utilizar como sinónimos, sin embargo, cada uno de estos cuenta con características propias, así como una evolución, pronóstico y consecuencias distintas por lo que resulta fundamental saber identificar y diferenciar cada uno de estos de acuerdo a sus características específicas.

El que un paciente desarrolle alguna de estas entidades supone un reto tanto en la parte médico-quirúrgica como en la fisioterapéutica, ya que tornará el proceso de recuperación del paciente en cuestión, más largo y complicado originando mayores costos económicos y generando posibles complicaciones durante el tiempo de tratamiento, sobre todo si se llega a una reintervención quirúrgica, siendo una cuestión de vital importancia si se trata de pacientes geriátricos, en quienes es crucial evitar complicaciones y mantener el mayor grado posible de funcionalidad.

Las intervenciones quirúrgicas siguen siendo la primera opción de tratamiento para corregir los defectos generados por los trastornos de la consolidación, sin embargo, desde comienzos del siglo XX se ha optado por investigar otro tipo de tratamientos menos invasivos. Debido a esto, las intervenciones no invasivas han tomado cada vez mayor importancia, aunque siguen siendo contradictorios los resultados arrojados.

Contar con otras alternativas de tratamiento que tengan las características de ser menos invasivas y generar pocas o ninguna complicación supone una gran ventaja para los pacientes geriátricos, ya que no necesariamente tendrían que someterse a múltiples intervenciones quirúrgicas. Una de las mayores problemáticas para el tratamiento de estas patologías cuando se presentan en los adultos mayores es la presencia de comorbilidades, así como la cantidad de posibles complicaciones que puedan presentarse durante las intervenciones quirúrgicas, dejándolos muchas de las veces excluidos de este tratamiento, traduciéndose en importantes pérdidas de la funcionalidad e independencia. Sumando a esto el constante aumento de la población geriátrica y la falta de personal especializado o capacitado en la atención a esta población en particular.

La presente revisión bibliográfica pretende identificar las alternativas existentes que el personal del área médica y, principalmente, los fisioterapeutas puedan aplicar para el tratamiento de la pseudoartrosis y que además sea una herramienta útil para tratar a la población de pacientes geriátricos, pues debido al proceso de envejecimiento y estado de salud muchas veces existen dificultades para llevar a cabo los tratamientos médico-quirúrgicos convencionales.

III) PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El tratamiento de la pseudoartrosis ha ido evolucionando conforme a los constantes desarrollos de las técnicas ortopédicas, sin embargo, no existe actualmente un estándar, una evaluación o referencia que proponga el método más conveniente y seguro de aplicar a la población geriátrica.

A estos pacientes se les han aplicado por más de medio siglo las mismas técnicas que son utilizadas en los pacientes más jóvenes dejando muchas veces de lado las características propias que presenta el paciente geriátrico a nivel sistémico, sometiéndolos en varias ocasiones a repetidas reintervenciones quirúrgicas que conllevan múltiples riesgos y complicaciones; tales como el desarrollo de infecciones, el fracaso de la cirugía y tiempos de recuperación prolongados.

Se han reportado características que pueden influir directa e indirectamente en el proceso de reparación ósea, una de ellas es la edad, paradójicamente, muchas veces los adultos mayores no son considerados como candidatos para intervenciones específicas encaminadas a resolver el proceso de reparación inadecuado, tornándose así en un completo problema de pérdida de movilidad y por consecuencia, deterioro de la independencia funcional, reagudización de comorbilidades y aparición de los síndromes geriátricos.

Así mismo, se han desarrollado técnicas de tratamiento que pretenden ser menos invasivas, sin embargo, son pocas las que tienen como finalidad ser probadas o aplicadas en paciente geriátricos, lo cual no elimina la problemática de la escasez de estudios que apliquen y evalúen el resultado de las mismas al ser aplicadas en dicha población.

Típicamente se describe el tratamiento de la pseudoartrosis mencionando única y exclusivamente la intervención quirúrgica, en la práctica diaria incluso llegan a existir situaciones en que el propio personal de salud desconoce de la actuación y modalidades que la fisioterapia puede ofrecer para complementar el tratamiento de esta patología restando valor a la rehabilitación, por lo cual se ven disminuidos notoriamente la cantidad de pacientes que deciden optar por otros tratamientos.

En el aspecto económico, es importante mencionar que las cirugías son costosas y agregado a los tiempos de permanencia en hospitales o unidades de cuidado se traducen en gastos elevados, por lo que gran parte de la población afectada no cuenta con la accesibilidad económica para solventar un tratamiento adecuado. Es por ello, que se deben identificar tratamientos cuyas características costo-efectivas y de duración del tratamiento sean más accesibles para la población geriátrica.

IV) PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuenta la fisioterapia con modalidades menos invasivas en el manejo específico del paciente geriátrico, para intervenir de manera benéfica en el tratamiento de la pseudoartrosis en esta población?

V) HIPÓTESIS

La fisioterapia cuenta con modalidades de intervención menos invasivas y conservadoras para tratar la pseudoartrosis en los pacientes geriátricos.

VI) JUSTIFICACIÓN

Actualmente, la cantidad de fuentes que recopilan o hacen referencia a las modalidades de tratamiento disponibles para el manejo de la pseudoartrosis con métodos no invasivos son escasas, no emiten resultados relevantes o excluyen de sus investigaciones a los adultos mayores, lo cual reduce considerablemente la cantidad de información confiable cuando se trata específicamente de la población geriátrica.

Ya que se prevé un considerable aumento de las cifras de pacientes que presenten algún trastorno de la consolidación, es imprescindible que el personal del área de la salud y sobre todo aquellos cuya interacción con esta población sea constante, cuente con conocimiento e información relevante, actualizada y sintetizada para poder ofrecer un tratamiento adecuado que se adapte a las características específicas que presenta el paciente geriátrico haciendo de su conocimiento las opciones terapéuticas disponibles así como de los beneficios, porcentajes de éxito terapéutico y posibles complicaciones.

La realización de investigaciones como esta, pretende aumentar la cantidad de herramientas y fuentes existentes respecto al tema en cuestión, además de generar el conocimiento necesario para los terapeutas y de igual manera fortalecer la formación intelectual y académica del personal sanitario, así como dar hincapié al desarrollo del interés e investigación futura enfocada específicamente en este sector que muchas veces es subtratado o que no recibe el tratamiento óptimo, así mismo, que dé a conocer las modalidades que cuenten con los mejores resultados en cuanto a tiempo de tratamiento, éxito terapéutico, costo y duración del mismo. Abordando también la recuperación funcional del paciente mejorando la movilidad y fuerza y a su vez, disminuyendo los niveles de independencia.

VII) OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Identificar los métodos actuales de intervención fisioterapéutica para el tratamiento de la pseudoartrosis en pacientes geriátricos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar y analizar la información actual sobre el tratamiento de la pseudoartrosis en el paciente geriátrico.
- Describir los métodos de intervención más comúnmente utilizados en fisioterapia para el tratamiento de la pseudoartrosis en el paciente geriátrico.
- Describir los métodos terapéuticos disponibles en fisioterapia que generen mayores porcentajes de efectividad en el tratamiento de la pseudoartrosis en el paciente geriátrico.

VIII) ANTECEDENTES

La pseudoartrosis se define como aquella patología en que no se logra la consolidación ósea tras haber sufrido una fractura pasados 9 meses o más de evolución de la misma.¹ Se consideraba incluso que no existía un tratamiento que corrigiera este defecto óseo, ya que las cirugías realizadas generalmente fracasaban debido al incorrecto balance entre fijación y estímulo mecánico necesarios para desencadenar las distintas fases de reparación del tejido óseo.

Posteriormente, desde comienzos del siglo XX se cuenta con reportes complejos acerca del principal tratamiento de la pseudoartrosis. Las técnicas quirúrgicas, tales como la fijación interna y externa, siguen siendo casi 60 años después, el tratamiento de primera elección.^{2,3}

Sin embargo, las técnicas quirúrgicas, incluido el actual estándar de tratamiento, no son las únicas disponibles para el manejo de la pseudoartrosis, gracias a los avances en medicina, biología y genética se han desarrollado técnicas "ortobiológicas" que mediante injertos de hueso y aplicación de factores biológicos (factores de crecimiento, proteínas morfogenéticas) han demostrado ser útiles y se continúan investigando actualmente.⁴

Es a partir del año 2002 debido a la aprobación de estas terapias por parte de la FDA (U.S. Food and Drug Administration)^{5, 6} que se han estado reportando una mayor cantidad de estudios de este tipo de tratamientos con resultados prometedores. Sin embargo, en este tipo de publicaciones se encuentra que las muestras de pacientes están compuestas en su mayoría por personas jóvenes o infantes en el caso de las pseudoartrosis congénitas, dejando muy pocos estudios confiables que reporten resultados específicamente en pacientes geriátricos. En varias investigaciones se reporta el tratamiento en conjunto de pseudoartrosis y de artrosis eliminando en ciertos casos los fragmentos óseos lesionados a la par que se coloca una prótesis, comúnmente reemplazos totales de cadera o rodilla.⁷⁻¹⁰

Los tratamientos físicos, si bien no son del todo actuales, llevan un tiempo relativamente corto desde que se han aplicado y realizado estudios en humanos. Ya que no fue hasta la aprobación de algunos de estos por parte de la FDA (U.S. Food and Drug Administration) que en el continente americano se han utilizado principalmente como tratamientos complementarios a la intervención de elección, que es la cirugía de desbridamiento y fijación interna o externa.^{11, 12} Mientras que en el tratamiento fisioterapéutico, los agentes con mayor aplicación y prueba hasta la fecha son: el ultrasonido terapéutico, los campos magnéticos y el tratamiento mediante ondas de choque.

Por otra parte, Fukada y Yasuda (1957)¹³, probaron y describieron los efectos biológicos producidos en las estructuras óseas dañadas tras la aplicación de estímulos mecánicos y campos electromagnéticos, mencionan la importancia de los cambios de polaridad y los efectos benéficos que se obtienen al aplicarlos de manera específica. Estos agentes fueron empleados en un comienzo solamente en modelos animales y con el objetivo de tratar patologías como la pseudoartrosis congénita y los retardos de la consolidación.

Investigadores como Sutcliffe y Goldberg (1982)¹⁴ realizaron uno de los primeros estudios experimentales en donde se aplicaban campos electromagnéticos pulsados a una muestra de 37 casos de pseudoartrosis congénitas de tibia utilizando parámetros de 220 a 240 Volts, a 72 Hz y un campo terapéutico con voltajes de 1.0 mV/cm. Obtuvieron resultados positivos en el 70.2% (26 de 37 pacientes) de los casos logrando la consolidación en una media de tiempo de 18 meses, sin embargo, todos los casos fallidos resultaron en amputación del segmento dañado.

En estudios más recientes de la aplicación de campos electromagnéticos las investigaciones incluso han dado pauta a la elaboración de instrumentos de medición cuantitativos como es el caso de lo reportado por López-Oliva y cols. (2006)¹⁵ en el que evaluaron la eficacia del tratamiento a la par que generaban un sistema de puntuación. El punto de corte que utilizaron fue de 10 puntos o menos para un pronóstico favorable, obteniendo un porcentaje de 88.7% casos de éxito tras el tratamiento con campos electromagnéticos pulsátiles. Por otra parte, aquellas pseudoartrosis que habían conseguido puntajes mayores de 10 presentaron resultados desfavorables obteniendo el éxito en solamente un 41.6% de los casos, tras haber recibido el mismo tratamiento.

Nixon (1985)¹⁶ menciona en su revisión datos de relevancia al aplicar corriente eléctrica en el tejido óseo de modelos animales, resaltando la formación de tejido óseo cerca del electrodo negativo en un grupo de conejos con fractura de peroné con una corriente de 5 a 20 μA , así mismo reporta que se observaron casos de necrosis cuando el tejido óseo se sometía a intensidades de 100 μA . En el mismo año, Paterson y Simonis (1985)¹⁷ reportaron haber realizado una intervención basada en la aplicación de estimulación eléctrica, aplicaron corriente directa en una muestra de 27 pseudoartrosis de tibia combinando el tratamiento con injerto óseo y fijación interna, durante 6 meses. Lograron un 74% de casos de consolidación en una media de tiempo de 7.2 meses.

Pilla y cols. (1990)¹⁸ aplicaron un tratamiento utilizando ultrasonido de baja intensidad sobre modelos animales (139 conejos) en quienes se realizó una osteotomía bilateral de peroné. El tratamiento utilizó parámetros de 1.5 MHz de frecuencia, una intensidad de 30 mW/cm^2 a 1 kHz, pulsado al 20%, durante 20 minutos diarios. Reportaron un aumento de la resistencia del hueso en un 40 a 85% comparados con el control y encontraron que hacia los días 14 a 28 post tratamiento los huesos tratados eran tan fuertes como los intactos.

Wang y cols. (1994)¹⁹ en un estudio similar crearon fracturas de fémur en modelos animales (22 ratas) aplicando los mismos parámetros en un total de 10 sesiones durante 15 minutos. Los huesos fueron evaluados a los 21 días posoperación mostrando una reparación acelerada y presencia de más tejido fibroso en los callos de fractura.

Mayr y cols. (2000)²⁰ realizaron una revisión del año 1994 a 1997 en distintas bases de datos, recopilaron la información de 1317 pacientes con retardo de consolidación y pseudoartrosis tratados con ultrasonido terapéutico. Encontraron que el 91% de los casos de retardo en consolidación sanaron en una media de 129 ± 2.7 días mientras que el 86% de los casos de pseudoartrosis consolidaron en 152 ± 5.3 días.

Johannes y cols. (1994)²¹ aplicaron la terapia de ondas de choque de alta energía sobre el radio de modelos animales (canes), utilizaron 4000 impulsos a $0.54 \text{ mJ}/\text{mm}^2$, obteniendo porcentajes de consolidación del 100% a las 12 semanas post tratamiento. Por otra parte, Mc Cormack (1996)²² realizó una intervención aplicando 600 impulsos sobre el radio de conejos dos veces por semana durante dos semanas. Se examinaron resultados a la cuarta semana observando callos de fractura mucho más extensos en el grupo experimental, aunque menciona en sus conclusiones que tal cantidad de callo fibroso podría tornar más extensa la fase de remodelado. En este estudio, el porcentaje de éxito en consolidación fue mayor al 60%.

Sin embargo, en los trabajos realizados en pacientes aún y con los resultados alentadores, la cantidad de estudios que incluían en sus investigaciones a personas mayores de 60 años son pocos en comparación con la cantidad de estudios publicados.

IX) MARCO TEÓRICO

1.- Generalidades de la anatomía ósea

Los huesos son aquellas estructuras rígidas conformadas de elementos orgánicos (colágeno, matriz osteoide) e inorgánicos (diversos minerales como calcio y fósforo) que forman parte del sistema esquelético y cuyas funciones se centran en proveer soporte al cuerpo, aportar funcionalidad en conjunto con los sistemas muscular y articular y brindan protección a los órganos vitales. ²³⁻²⁵

El tejido óseo presenta distintas cualidades estructurales dependiendo de su tipo y forma. Los huesos largos se caracterizan por poseer una longitud que resalta sobre su anchura y espesor. Se componen de una diáfisis, metáfisis y epífisis. ²⁴

La diáfisis, que es el cuerpo del hueso, está formada principalmente de hueso compacto, en esta se aloja la médula ósea. Las epífisis son los extremos terminales del hueso, se encuentran compuestas en su mayoría por hueso esponjoso y son ricamente vascularizadas debido a la presencia de médula ósea roja en los espacios esponjosos de estas, y finalmente, la metáfisis, es la zona de unión entre la diáfisis y la epífisis. ^{24, 25}

Su función es de extrema importancia en los niños y jóvenes puesto que en esta zona se desarrolla el crecimiento longitudinal del hueso. Se compone en un principio de cartílago hialino que, una vez terminado el proceso de desarrollo, se calcifica tomando características similares a las del hueso compacto. Se denominan huesos cortos a aquellos cuyas tres dimensiones son muy similares, se componen principalmente de hueso esponjoso que a su vez se encuentra rodeado de una capa de hueso compacto. Los huesos planos poseen como características un espesor de pequeñas dimensiones en comparación con su ancho o longitud. Estos se conforman predominantemente de dos placas de hueso compacto separados por hueso esponjoso. ^{23, 25}

El periostio (ver imagen 1) es una pequeña lámina de tejido conectivo ligeramente denso que recubre el hueso compacto por el exterior, posee una rica vascularización e inervación. El periostio juega un papel fundamental en el proceso de consolidación ósea ya que de él provienen muchas de las células osteogénicas que regulan el proceso de reparación ósea. ²⁵ En condiciones normales el periostio cubre casi la totalidad del hueso a excepción de las zonas donde se encuentre la presencia de cartílago articular. ²³

El endostio es una estructura bastante similar al periostio con la diferencia de que este se encuentra de manera interna recubriendo y delimitando la cavidad medular. Al igual que el periostio, este cuenta con un potencial osteogénico. ^{23, 25}

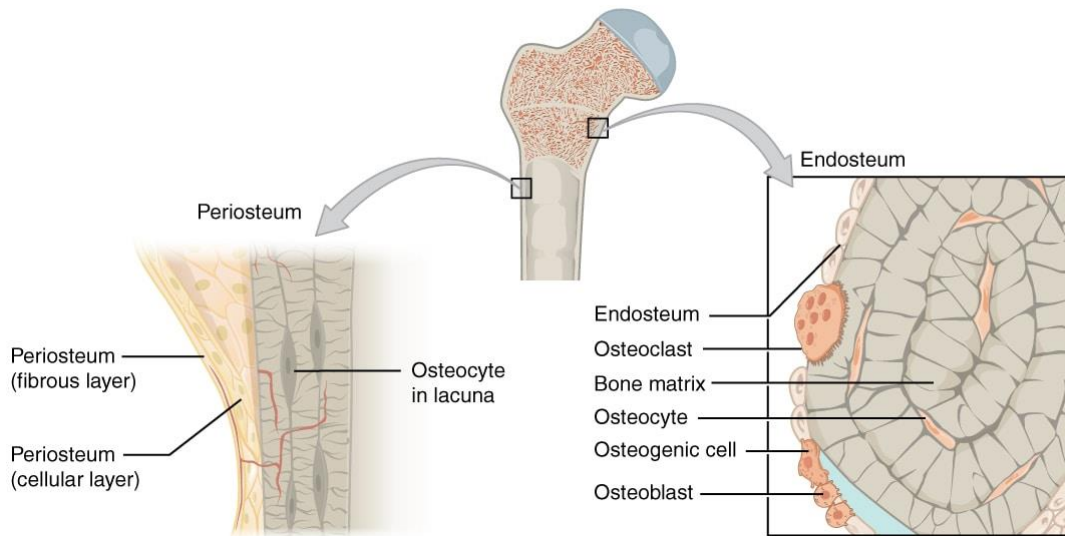


Imagen 1: Localización del periostio y endostio respecto a otras estructuras microscópicas del hueso. Obtenida de: <https://cellcode.us/quotes/bone-microscope-under-cells-tissue.html>

La estructura macroscópica interna del hueso comprende dos tipos de hueso, cuyas características aportan la capacidad de resistir las cargas y tensiones a las que el tejido óseo tendrá que someterse.^{24, 25}

El hueso compacto, tal como lo indica su nombre, tiene la particularidad de presentar una formación en capas bastante resistentes que darán longitud, forma y protección tanto a la cavidad medular como al hueso esponjoso.²⁶ El hueso compacto se encuentra formado en su superficie por láminas óseas que se superponen entre sí, debajo de estas el tejido óseo se organiza en columnas circulares íntimamente colocadas que poseen a su vez canales centrales por donde atraviesan vasos sanguíneos. A estas columnas organizadas se les denomina osteonas (ver imagen 2). Por otra parte, el hueso esponjoso generalmente se encuentra recubierto de hueso compacto, su configuración se encuentra en trabéculas entre las cuales existen espacios que son ocupados por la médula ósea roja.^{23, 25}

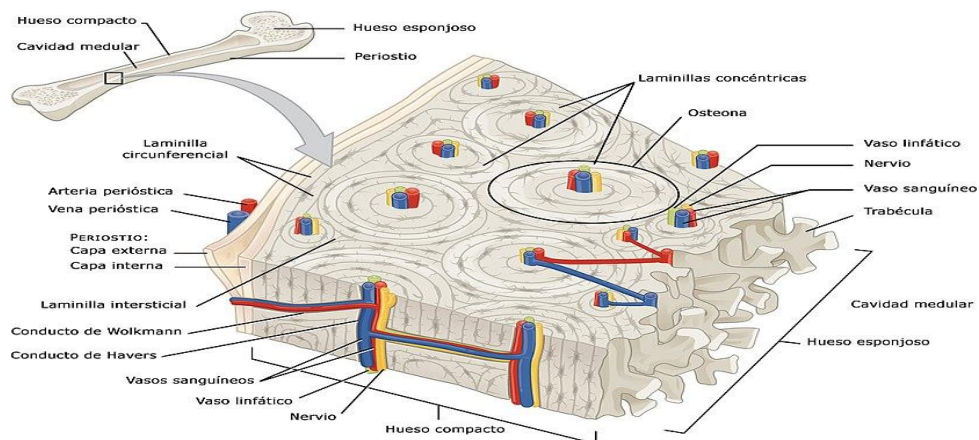


Imagen 2: Estructura microscópica del hueso compacto.

Obtenida de: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:605_Compact_Bone_esp.jpg

La conformación de este tipo de hueso pareciera ser un poco más desordenada, sin embargo, similarmente al hueso compacto, el hueso esponjoso tiende a orientarse hacia donde el hueso recibe más cargas o tensiones, brindando así un mayor soporte estructural al hueso.²⁴

El tejido óseo tiene una abundante nutrición por parte de numerosos vasos sanguíneos provenientes del periostio y de estructuras cercanas. Estos vasos sanguíneos poseen ramificaciones para abarcar un mayor espacio. En los huesos largos existe la presencia de un foramen nutricio principal, situado en el hueso compacto, a través de este foramen discurrirá un paquete vasculonervioso que será el principal medio de riego sanguíneo del hueso.^{24, 25}

Los nervios que acompañan a la arteria y venas nutricias generalmente poseen fibras nerviosas vasomotoras que ayudarán en la regulación del aporte sanguíneo.^{23, 26} La función principal de la arteria nutricia es la de proveer vascularización a la cavidad medular para posteriormente dirigirse hacia los extremos de la diáfisis, mientras que las arterias periósticas, a través de su paso mediante los canales perforantes alcanzan los canales centrales de las osteonas con la finalidad de proveer de riego sanguíneo a la estructura interna del hueso. La existencia de una correcta vascularización e inervación del hueso es fundamental para lograr un correcto desarrollo, mantenimiento y reparación de estos.^{23, 25}

1.1- Histología ósea

El tejido óseo es el encargado de brindar protección a las estructuras internas, de soportar cargas y tensiones aplicadas sobre ellos y de dar soporte y funcionalidad al cuerpo. Su configuración microscópica cuenta con células especializadas para realizar las funciones de formación, modelado y renovación de manera continua. Las poblaciones celulares y su funcionamiento organizado son los responsables de que existan huesos sanos capaces de cumplir con sus funciones. Las células osteogénicas derivadas del tejido mesenquimal serán las precursoras de las células formadoras de tejido óseo, se localizan tanto en el recubrimiento interno y externo del hueso (endostio y periostio), así como en los conductos internos del hueso. Su diferenciación dará origen a los osteoblastos, osteocitos y osteoclastos.²³⁻²⁶

Los osteoblastos son las células óseas encargadas de la formación, mantenimiento y crecimiento del hueso a través de la síntesis de componentes flexibles (fibras colágenas) y estructurales promoviendo el depósito de sustancias inorgánicas y posterior formación de cristales de hidroxiapatita resultando en consolidación ósea.²⁷

Se denominan osteocitos a los osteoblastos en su etapa madura. Mientras los osteoblastos realizan sus funciones de síntesis de componentes estructurales del hueso quedan “atrapados”, su función principal es la de mantenimiento de la estructura formada previamente a través del intercambio constante de nutrientes.^{27, 28}

Finalmente, los osteoclastos son un tipo distinto de célula ósea también proveniente del tejido mesenquimal cuya función es la opuesta a la de los osteoblastos. Las células osteoclásticas se encargan fundamentalmente de la resorción del tejido óseo formado mediante la liberación de enzimas que degradan los componentes minerales y los orgánicos del tejido óseo para dar paso a su posterior renovación y remodelación ósea, también entrando en función para un mantenimiento óptimo de los niveles de calcio en sangre.²⁷ El balance adecuado entre estas estructuras celulares será el que determine un correcto mantenimiento del tejido óseo.

Cuando no existe un equilibrio entre los procesos de formación y degradación se presentan procesos patológicos en el hueso, como en el caso de la osteoporosis.^{23, 26-28}

1.2- Proceso de osificación

> Osificación membranosa: Es uno de los dos procesos de osificación, por el cual se forman huesos como la clavícula y el cráneo, siendo denominados huesos de membrana. Las características principales de la osificación membranosa radican en su origen, ya que se desarrollan a partir del tejido embrionario que en un comienzo solamente formarán una especie de maqueta del hueso que será formado para posteriormente concentrarse y formar la sustancia osteoide, que en su inicio se distingue por la ausencia de calcio. Una vez iniciado el depósito de calcio y otros minerales, el tejido comenzará a tomar las características propias del tejido óseo formando así los huesos planos.²³⁻²⁶

> Osificación condral o cartilaginosa: El proceso de osificación condral se caracteriza por el reemplazo de cartílago a tejido óseo. En un comienzo se desarrollan moldes de cartílago que gradualmente serán reemplazados por tejido óseo propiamente dicho. El punto de partida es el molde cartilaginoso formado en donde se generará un centro de osificación primario, generalmente en donde será la futura zona diafisaria que ayudará en un principio a producir hueso esponjoso.^{25, 26}

Posteriormente aparecen centros de osificación secundarios en los extremos del hueso en desarrollo. En este proceso a la vez que se va formando el tejido óseo el molde cartilaginoso comienza a degenerarse hasta solamente estar presente en las zonas donde habrá articulaciones. La mayoría de los huesos pasan por este proceso de osificación.

Cabe señalar que, tanto en la osificación membranosa como en la cartilaginosa, el periostio juega un papel fundamental ya que de él derivan los mecanismos de nutrición y el aporte de células osteogénicas indispensables para el desarrollo óseo.²³

2.- Consolidación ósea

Se entiende como consolidación ósea a aquel proceso cuyo principal objetivo es lograr la completa reparación del tejido óseo que fue dañado. La consolidación ósea es el único proceso de reparación a nivel histológico que restaura la estructura dañada justo a cómo era en un principio, mediante un mecanismo muy similar al que se presenta durante el desarrollo embrionario logrando así recuperar casi en su totalidad todas las características y propiedades con las que contaba antes de sufrir la lesión.²⁹

Se distinguen dos procesos principales de consolidación con características distintas: la consolidación cortical o primaria y la consolidación secundaria: ²³⁻²⁶

2.1- Consolidación cortical/primaria

Este mecanismo de consolidación requiere del contacto total entre los bordes óseos fracturados para poder producirse, además de la ausencia total de movimiento de ambos extremos. En este tipo de consolidación no existe una formación de callo fracturario ni existe una deposición de tejido cartilaginoso.

Esta consolidación solamente se logra cuando los fragmentos no están desplazados ni alejados y mediante la colocación de material de osteosíntesis de manera quirúrgica.⁸

2.2.- Consolidación secundaria

Es el mecanismo de consolidación mediante el cual se reparan casi todas las fracturas óseas, en este se llevan a cabo distintas fases de consolidación, existe la formación inmediata de un hematoma y la iniciación de la cascada de inflamación que preparará a la zona lesionada para su posterior reparación, existe la formación de un callo de fractura que en un comienzo será de tejido fibroso y gracias al depósito y acumulación de minerales este se tornará en un callo rígido para finalmente dar paso al proceso de diferenciación ósea y su remodelado.^{8, 26, 27, 29}

El proceso de consolidación secundaria suele dividirse en distintas fases, las cuales serán mencionadas a continuación, es considerado de vital importancia que cada una de estas fases se desarrolle de manera adecuada para lograr que la reparación del tejido óseo sea exitosa y se restauren en su totalidad todas las características tanto biológicas como mecánicas del hueso.⁸

Las fases que corresponden al proceso de consolidación secundaria son las siguientes:

- Formación de hematoma: El evento que se desencadena inmediatamente después de sufrir la lesión es el proceso de inflamación. Se comienza con el proceso de “preparación” y acción de algunos mediadores inflamatorios, estabilizando la hemorragia y generando la activación de los osteoclastos, los cuales se dedican a limpiar el tejido necrótico circundante a la zona de fractura. Este evento ocurre dentro de las primeras dos semanas después de ocurrida la lesión, aproximadamente.^{8, 29, 30}
- Formación de callo blando/cartilaginoso: Una vez reestablecidas las funciones circulatorias cercanas al foco de fractura comienza a abundar tejido fibroso en la zona. Esta fase se caracteriza por el comienzo de la diferenciación de ciertas células que darán paso a la formación de cartílago y posterior tejido mineralizado.^{27, 29}
En esta etapa de la consolidación ósea es importante no someter los fragmentos involucrados a estrés mecánico o movilización excesiva. Es en este punto en que los trastornos de la consolidación suelen originarse.
- Formación de callo óseo: En esta etapa el depósito de minerales en la zona de la fractura es mayor, comienza una diferenciación más importante entre el tejido cartilaginoso y el nuevo tejido óseo^{26, 29}, es importante que exista un balance entre los elementos orgánicos (células óseas) y los inorgánicos (minerales) para la adecuada formación.⁸
Comienza a existir más estabilidad en la fractura, sin embargo, es un tejido aún frágil que tampoco debe ser sometido a excesivo estrés.
En la pseudoartrosis esta fase y la posterior son inexistentes.
- Proceso de reabsorción ósea: considerada la fase final, en la que se pulen los resultados de las fases precedentes. Las corticales toman características bastante similares a las que poseían antes de la fractura.^{8, 26, 27}
Con la finalización de esta fase se obtiene el éxito del proceso de consolidación ósea.

2.3.- Propiedades Piezoeléctricas del tejido óseo

Piezolectricidad es un fenómeno que hace referencia a la condición en que ciertos materiales poseen la capacidad de transducir estímulos mecánicos, como, por ejemplo, la presión o tensión ejercida sobre ellos, en señales eléctricas. El efecto piezoeléctrico es normalmente atribuido al cambio de carga de los polos, causado por estrés mecánico o debido a la interacción de campos magnéticos.^{13, 31, 32}

Los primeros hallazgos de características piezoeléctricas en el tejido óseo fueron reportados por Fukada y Yasuda (1957), quienes describieron los cambios que sufría el tejido óseo circundante y sobre el área lesionada cuando se pasaba una corriente eléctrica a través de este.¹³

Se observó que existía un crecimiento de callo óseo cercano al sitio donde se encontraba colocado el polo negativo, en dirección al polo positivo, de igual manera describió que si el hueso sufría alguna deformación sería sobre el lado de la concavidad donde se generaría una carga eléctrica negativa.³¹ Fue a partir de entonces que continuaron los estudios sobre las propiedades piezoeléctricas del hueso y aunque en un comienzo se realizaron en modelos animales, actualmente se cuenta con estudios aplicados en tejido humano. Esto en gran medida permitió el desarrollo de terapias y dispositivos utilizando corrientes eléctricas, campos magnéticos y ondas de sonido.^{13, 31}

En el tejido óseo, la generación de este efecto piezoeléctrico a través de la aplicación de estímulos mecánicos es capaz de propiciar la reparación y regeneración de ciertos tejidos mediante vías bioquímicas definidas, resultando en un complemento para la reparación ósea.³¹

Este efecto ha sido observado durante el proceso de reparación tanto de tejido óseo como de cartílago, en el sistema esquelético. Para que esta señalización se lleve a cabo de manera adecuada es necesario que los estímulos sean transmitidos a través de la matriz extracelular hacia los receptores situados en las membranas celulares que una vez estimulados iniciarán con la activación de las vías internas de la célula hasta que el mensaje sea captado por el núcleo celular, quien finalmente responderá a esta cascada de señalización produciendo las proteínas solicitadas. A este mecanismo de señalizaciones se le conoce como mecanotransducción.³³

El proceso de mecanotransducción es primordial debido a la capacidad de generar cambios a nivel de la membrana celular para promover una mayor concentración de factores de crecimiento relacionados al proceso de curación ósea. La estimulación mecánica traerá consigo otros beneficios para el proceso de remodelación ósea como resultado del efecto piezoeléctrico generado en el hueso.³²

Los osteoblastos en el extremo del hueso en que se aplican fuerzas de compresión se estimularán como resultado de las fuerzas cargadas electronegativamente, por otro lado, los osteoclastos se activarán debido a las cargas electropositivas en el lado en que se genere tensión.¹³

De igual manera se tiene conocimiento de que las cargas eléctricas generadas en la estructura ósea influyen en la apertura de canales de calcio dependientes de voltaje, aumentando de esta manera las concentraciones de calcio intracelular. Aun así, las vías exactas mediante las que se producen estas cascadas de señalización tanto extra como intracelulares permanecen sin ser del todo descritas.³³

La piezoelectricidad, al igual que otras constantes físicas, se verá modificada por las características presentes en el tejido. El efecto tendrá tendencia a disminuir con el aumento de líquidos en la zona y de las variaciones de temperatura; cuando un hueso se lesiona habrá un aumento considerable de la temperatura en la zona, presencia sangre y otros líquidos disminuyendo en ese momento el valor de la constante de piezoelectricidad. Por otra parte, esta es notablemente mayor en el hueso descalcificado debido a la disminución de componentes de la matriz ósea, como es el caso de los huesos en los adultos mayores.³¹

3.- Consideraciones en el paciente geriátrico.

En el paciente geriátrico existe cierta predisposición de sufrir fracturas causadas debido a distintas variables como lo son la disminución de aptitudes físicas, tales como la fuerza muscular, el equilibrio, y coordinación, además de la presencia de comorbilidades, el consumo de ciertos fármacos y el deterioro progresivo normal ocasionado por los cambios durante el envejecimiento. Los mecanismos de lesión suelen ser distintos en esta población, pues en la mayoría de los casos son consecuencias de una caída o de traumatismos de bajo impacto a diferencia de la población más joven en quienes los principales mecanismos de lesión se deben a traumatismos de alto impacto.³⁴

Las fracturas que se presentan con mayor frecuencia en la población geriátrica suceden en la muñeca (fractura de Colles) llegando a representar un 50% del total de las fracturas ocasionadas por una caída, seguido de fracturas de cadera con un 20% y fémur, húmero, arcos costales y vertebrales con un 30%. Al trasladar esta información a un ámbito nacional se puede encontrar que las fracturas que más comúnmente sufren los adultos mayores en México son las fracturas en el antebrazo, seguidas por las fracturas de cadera, húmero y pelvis, información que coincide con los datos reportados mundialmente.³⁵

Es difícil obtener cifras exactas sobre la cantidad de fracturas que ocurren anualmente y que afectan a los adultos mayores de 60 años. Dhanwal y cols. (2011) en su estudio epidemiológico mundial reportan un esperado incremento de fracturas de cadera que será de 6.26 millones de casos a nivel mundial para el año 2050. Específicamente en México, se lleva un registro aproximado de 169 fracturas de cadera en mujeres y de 98 en hombres por cada 100,000 habitantes, anualmente³⁶ por lo que debe ser una prioridad para los sistemas sanitarios contar con medidas de prevención, así como opciones terapéuticas.

Debido al creciente aumento de la población geriátrica, América Latina debe prepararse para afrontar este suceso ya que representará un reto para los sistemas sanitarios en todos los niveles de atención, así como un elevado coste económico para los sistemas de salud, los mismos pacientes y sus familias.³⁴

Las consecuencias que desencadena una fractura en el paciente geriátrico se encuentran directamente relacionadas a la severidad y localización anatómica de la misma, las repercusiones negativas más evidentes y comúnmente tratadas en fisioterapia son: la pérdida total o disminución en la independencia funcional, la influencia negativa en el grado de movilidad del paciente y sus efectos directos en la percepción de calidad de vida.^{34, 36}

Sin embargo, las consecuencias de haber sufrido una fractura no se limitan a estas; se deben agregar las lesiones a los tejidos blandos, la institucionalización e incluso la muerte, mientras que en el ámbito psicológico el individuo puede llegar a presentar temor de volver a sufrir una fractura, afectando así las esferas clínica, física, mental y social del paciente geriátrico.³⁵

El proceso de reparación ósea mantiene a grandes rasgos las mismas características durante las distintas etapas de la vida desde la infancia hasta la vejez mientras que la remodelación del tejido óseo se mantiene activa de por vida por lo que no es distinto en los adultos mayores, aunque cabe destacar que existen ciertas modificaciones propias de la edad, entre ellas el aumento en la duración de cada una de las fases de la consolidación ósea.²⁷

Se reporta que la edad es uno de los factores predisponentes a desarrollar alguno de los trastornos de la consolidación³⁷ y que además a mayor edad el proceso de consolidación se torna más lento^{8, 35}, sin embargo, el desarrollo de pseudoartrosis es una situación patológica por lo que no se debe prescindir de tratamiento en el cual se deben tener consideraciones específicas, así como la participación de un equipo multidisciplinario con el objetivo de prevenir complicaciones, tratar comorbilidades o reagudizaciones subsecuentes.

Los cambios asociados al envejecimiento son variables que se deben priorizar al brindar el tratamiento, dando un mayor énfasis a los cambios que ocurren a nivel del sistema musculoesquelético ya que para los 60 años de edad aproximadamente el 80 % de los adultos mayores ya presentan cambios degenerativos importantes.³⁵

A pesar de que los cambios que sufre el sistema osteo-mio-articular pudieran ser los más estrechamente relacionados con el desarrollo de la pseudoartrosis, en el paciente geriátrico existen otras condiciones que pueden propiciar su aparición, como lo son:

3.1.- Cambios Musculoesqueléticos

Los principales cambios a nivel muscular son la disminución tanto en tamaño como en número de miocitos, la reconfiguración y aumento de tejido fibroso entre las fibras musculares, la atrofia de fibras de tipo II a y b, disminución de la capacidad de contracción, alteraciones del metabolismo muscular y de su conductividad nerviosa a nivel de placa neuromuscular.^{35, 38, 39} Estos cambios en el adulto mayor se traducen en una disminución de la fuerza y resistencia muscular, así como una disminución en la capacidad de respuesta, de alteraciones en el equilibrio y en la propiocepción.

Los cambios a nivel óseo, aunque se desarrollan en toda la población, se acentúan más en las mujeres debido a los cambios hormonales tan característicos durante el proceso de climaterio. Los principales cambios en la reconfiguración del tejido óseo son la constante descalcificación, así como un aumento en la dificultad para fijar calcio, la disminución de la actividad osteoblástica con función normal de la actividad osteoclástica³⁵, disminuye la capacidad de soporte estructural óseo volviéndolo más susceptible a fracturas por fragilidad, existe un descenso en la capacidad de diferenciación ósea y como ya se mencionó, un aumento en el tiempo de reparación ósea.

3.2.- Patologías óseas

La existencia de ciertas patologías óseas puede complicar el proceso de atención del paciente geriátrico después de haber sufrido una fractura debido a que se encuentra comprometida parcial o totalmente la integridad del sistema óseo.⁴⁰ Dos de las patologías óseas más comunes son la osteopenia y la osteoporosis.

La osteoporosis es una enfermedad sistémica caracterizada por la disminución de los niveles de masa ósea que afecta la microarquitectura del tejido óseo, provocando un mayor riesgo de sufrir fracturas debido a la fragilidad.³⁵

La presencia de osteopenia u osteoporosis no parecen ser indicativos de que el paciente desarrolle algún defecto en el proceso de reparación ósea⁸, sin embargo, estas dos entidades pueden influir en la elección de tratamiento de la pseudoartrosis en el paciente geriátrico, especialmente al referirnos al tratamiento ortopédico y quirúrgico, ya que en muchos de los sistemas de fijación tanto internos como externos se pudieran ver comprometidos en cuestión de eficacia si se colocan en huesos frágiles.¹

3.3.- Síndromes geriátricos

Un síndrome geriátrico (SG) es un cuadro clínico, en que las enfermedades más frecuentes en el adulto mayor se manifiestan con el potencial de generar complicaciones graves, deterioro en el estado de salud, discapacidad y dependencia, colocándolos en un estado de vulnerabilidad tanto para sobrellevar patologías como para enfrentarse a distintos procedimientos quirúrgicos.⁴⁰

Los SG se encuentran estrechamente relacionados con el desarrollo de discapacidad e independencia en el adulto mayor, así como en la aparición de comorbilidad y la reagudización de otras entidades patológicas debido a su característica de comportamiento en un círculo vicioso.^{8, 40} En algunos de estos síndromes geriátricos se incrementa la incidencia a sufrir fracturas que puedan generar el desarrollo de alguno de los TC en mayor medida si se los compara con otros. Por ejemplo:

-Caídas

Definido como la precipitación repentina no intencionada hacia un plano inferior, es una de las problemáticas con mayor relevancia en la geriatría. Se estima que un adulto mayor cae aproximadamente 1.6 veces por año, el 10% de los adultos que cae generarán lesiones importantes⁸, específicamente fracturas en distintas zonas anatómicas, siendo la fractura de muñeca la más frecuente.^{34, 36, 40} El alto porcentaje de caídas en el adulto mayor, así como las fracturas asociadas, deben considerarse datos de importancia ya que pudiera traducirse en una mayor prevalencia de desarrollo de TC, incluida la pseudoartrosis.

- Sarcopenia

Es la pérdida generalizada tanto en los niveles de masa como de fuerza muscular, asociado a la edad, así como la disminución en los niveles de funcionalidad. La prevalencia de la sarcopenia en los adultos mayores oscila hasta en un 50% en los mayores de 80 años.^{8, 39, 40} Ya que su repercusión es directamente sobre el sistema musculoesquelético las complicaciones generadas debido a esta patología se traducen en un importante deterioro de la movilidad y de la funcionalidad, así como incremento del sedentarismo, predisposición del adulto mayor a caer y generar fracturas, así como la pérdida de la independencia.

- Fragilidad

Hace referencia a un estado fisiológico de vulnerabilidad incrementada caracterizado por reservas fisiológicas disminuidas que propicia a una menor capacidad de mantenimiento homeostático ante un estresor, sea enfermedad o lesión.^{8, 40} Se estima una prevalencia del 10% en los mayores de 60 años y que alcanza hasta el 50% en los mayores de 85 años.⁸

Este concepto ha tomado más relevancia durante los últimos años en el área geriátrica debido a su relación directa con índices de discapacidad, complicaciones, fracturas por fragilidad e incluso muerte. Debido a la disfunción sistémica y lo complicado que es para los adultos mayores que la padecen el poder hacer frente a lesiones o patologías, este síndrome geriátrico es uno de los mayores obstáculos para someterlos a intervenciones complejas como las cirugías mayores⁴⁰, pudiendo traducirse en muchos de los casos en una gran cantidad de riesgos y complicaciones.

4.- Trastornos de la consolidación: Pseudoartrosis

Se define como Pseudoartrosis a aquella fractura no consolidada en un periodo de 9 meses o más, una falta absoluta de consolidación que requerirá de alguna intervención para lograr completar la unión exitosa del o de los fragmentos dañados ya que por sí sola no se obtendrá la unión de éstos, requiriendo de la intervención quirúrgica y/o física, según sea el caso.^{1, 8, 41-44}

Existen casos en que la pseudoartrosis puede llegar a confundirse con otros trastornos de la consolidación, como por ejemplo el retardo de la consolidación. Sin embargo, en el retardo, aunque la consolidación no se lleva a cabo dentro del tiempo esperado sí se logra, a diferencia de la pseudoartrosis en que la consolidación no ocurrirá.

A pesar de que en la definición se menciona que se considera una pseudoartrosis establecida cuando han pasado 9 meses o más, es posible actuar antes teniendo en cuenta los tiempos aproximados de consolidación de ciertos huesos (ver tabla 1), sin ser necesario esperar a que pase demasiado tiempo para intervenir.⁴⁵

Tabla 1: Tiempos de consolidación normales.

Fracturas diafisarias		Fracturas metafisarias	
Localización	Tiempo medio	Localización	Tiempo medio
Clavícula	6 semanas	Húmero	10-12 semanas
Húmero proximal	6 semanas	Cúbito proximal	6 semanas
Húmero distal	8 semanas	Fémur proximal	8-10 semanas
Cúbito y Radio	16-20 semanas	Fémur distal	14-17 semanas
Fémur	3-19 semanas	Tibia proximal	8-10 semanas
Tibia	20 semanas	Tibia proximal	8-10 semanas

Colino et. al. 2008

Para poder diferenciar a la Pseudoartrosis de otros trastornos de la consolidación, se han establecido ciertas características que deben estar presentes tanto en la exploración física como radiológica.

Las características clínicas que son comúnmente encontradas en los pacientes que presentan pseudoartrosis incluyen:^{1, 41, 45}

- Dolor y sensibilidad aumentada a la palpación en la zona de la lesión.
- Movimiento anormal en la zona de la fractura.
- Crepitación de los bordes óseos dañados
- Incapacidad para soportar el peso corporal
- Pérdida de la funcionalidad del miembro afectado
- Asimetría y/o deformidad

- Disminución de los rangos de movimiento articular de las articulaciones cercanas
- Daño a tejidos blandos cercanos

Por otro lado, las características imagenológicas comúnmente encontradas en la pseudoartrosis incluyen:^{1, 45}

- Ausencia de formación de callo óseo o presencia de abundante tejido fibroso sin osificar
- Evidencia de ausencia de cambios radiológicos en un mínimo de 3 controles radiográficos mensuales consecutivos
- Presencia de una brecha entre los extremos óseos lesionados con o sin abundancia de tejido fibroso
- Osteopenia y/o defectos óseos

Cuando se trata específicamente de la pseudoartrosis en el paciente geriátrico se deben tomar en cuenta ciertas características. Los tiempos de consolidación en esta población pueden tomar más tiempo de lo esperado debido a factores como la edad avanzada, las posibles carencias nutricionales y reservas disminuidas sin necesidad de tratarse de algún proceso patológico durante la consolidación. Es sumamente importante identificar un proceso normal, aunque con modificaciones propias de la edad, del proceso de consolidación patológico. La utilidad de los criterios diagnósticos tanto clínicos como imagenológicos serán fundamentales para lograr un diagnóstico y tratamiento adecuados.^{1, 41}

Por otra parte, factores como la dieta del adulto mayor, el consumo regular de ciertos fármacos y la presencia de ciertas patologías comunes en la tercera edad pueden agravar y aumentar las probabilidades de generar pseudoartrosis. Una dieta con deficiente contenido calórico es una situación frecuentemente encontrada en los adultos mayores, los niveles subóptimos de grupos alimenticios específicos como proteínas y vitaminas pueden traducirse en problemas de consolidación.^{41, 45}

Agregado a esto, algunas enfermedades de presentación común en los adultos mayores, como vasculopatías y diabetes mellitus, se encuentran relacionadas a la propensión de aparición de trastornos en la consolidación y se han logrado identificar algunos fármacos muy frecuentemente consumidos por los ancianos que pudieran influir en el proceso de consolidación.^{1, 41}

La Fenitoína, Ciprofloxacino, algunos corticoesteroides, AINES y anticoagulantes se han relacionado con la aparición de retardos de la consolidación y pseudoartrosis.⁴¹ Aunque los resultados obtenidos en la actualidad son contradictorios, se ha logrado determinar una relación entre estas alteraciones del proceso de consolidación ósea y el consumo de los fármacos mencionados anteriormente.

La pseudoartrosis en el paciente geriátrico llega a generar consecuencias directas en la capacidad funcional debido a los periodos de intervención prolongados, los tratamientos generalmente invasivos, largos periodos de inmovilización y posibles complicaciones, además de suponer un alto coste económico. A largo plazo el paciente experimenta una disminución en su independencia funcional y en su calidad de vida, siendo esto un posible detonador de otras patologías y agravante de comorbilidades ya existentes. Incluso se ha hecho referencia a que la pseudoartrosis tiene una mayor influencia negativa en la percepción de calidad de vida que patologías como la artrosis de cadera o la insuficiencia cardiaca en el adulto mayor.¹

5.- Clasificación y valoración

Las clasificaciones utilizadas en las pseudoartrosis se basan comúnmente en características tales como la localización anatómica, origen, grado de severidad, características del callo y si hay o no presencia de infección.⁴⁵

Las clasificaciones más habituales en la práctica clínica debido a su practicidad son la realizada por Judet & Judet⁴⁶, la cual clasifica la viabilidad de estos extremos óseos diferenciándolos en atróficas e hipertróficas y realizando a su vez una subdivisión de las hipertróficas (ver tabla 2). La clasificación de Weber y Cech (ver tabla 3)^{11, 41, 45}, es una de las clasificaciones más utilizadas y referidas en la bibliografía, así como una de las primeras clasificaciones creadas y que actualmente continúa en uso en su versión modificada, se basa en las características anatómicas del callo mencionando la situación vascular de éstas.

Tabla 2: Clasificación de la Pseudoartrosis según Judet & Judet

Atróficas (Origen biológico)	Hipertróficas (Origen mecánico)
Pérdida de fragmentos	Pata de elefante: Callo abundante e hipertrófico
Sustitución por tejido cicatrizal	Casco de caballo: Hipertrofia moderada
Vascularización Pobre	Hipotróficas: Ausencia de callo

Tabla 3: Clasificación de la Pseudoartrosis según Weber y Cech

Hipervasculares/Hipertróficas	Avasculares/Atróficas
A) Pata de elefante	D) Cuña de torsión
B) Casco de caballo	E) Conminuta
C) Oligotróficas	F) Defecto óseo
	G) Atrófica

Una tercera clasificación es la de Paley et. al. (ver tabla 4)^{45, 46} que utiliza la severidad de la fractura, aunque esta clasificación es más utilizada en imagenología que en la práctica clínica habitual.

A pesar de las distintas clasificaciones existentes es muy poco común encontrar instrumentos de evaluación cuantitativa, ya que la valoración clínica y mediante escalas específicas se centran en identificar variables cualitativas. Se han propuesto clasificaciones como la realizada por López-Oliva y colaboradores¹⁵ en la que detallan una manera de clasificar y cuantificar características propias de la pseudoartrosis con el fin de elaborar un pronóstico del posible éxito del tratamiento basándose en un sistema de puntuación del que dependerá si el pronóstico es favorable o no (ver tabla 5).

A pesar de su prometedor resultado, aún se necesita del perfeccionamiento de la misma para poder ser aplicada extensamente.

Tabla 4: Clasificación de la Pseudoartrosis de Paley et. Al.

Retardo de la consolidación	Pseudoartrosis
Fracturas que no han consolidado entre 3 y 6 meses.	Tipo A: Pérdida ósea <1cm.
Estado temporal.	A1: Móvil
	A2: Rígida
	A2-1: Sin deformidad
	A2-1: Con deformidad
	Tipo B: Pérdida ósea >1cm
	B1: Defecto óseo-No acortamiento
	B2: Acortamiento-No defecto
	B3: Defecto óseo + Acortamiento

Tabla 5: Escala FREMAP para la evaluación de las características de las pseudoartrosis.

Puntuación*	1	2	3
Movilidad	No	Moderada	Importante
Dolor (EVA)	0	1-5	5-10
Inflamación	No	Moderada	Severa
Infección	No	Drenaje ocasional	Drenaje continuo
Tipo	Hipertrófica	Oligotrófica	Atrófica
Estabilidad	Fijación Estable	Osteólisis	Inestable/Fracaso del material

* Se suma 1 punto en caso de factor agravante (tabaco, diabetes, enfermedad vascular...)

-Puntajes igual o menor que 10: Pronóstico favorable.

- Puntaje mayor a 10: Pronóstico desfavorable.

López-Oliva (2006)

6.- Etiopatogenia

Los factores que predisponen el desarrollo de la pseudoartrosis son muy variados y se encuentran normalmente clasificados como en aquellos propios del paciente y aquellos que son dependientes de la fractura y sus características en sí. Algunos autores^{1, 41, 45, 47} agrupan a estos factores como:

> Factores locales. Aquellos que guardan relación con elementos tales como la alimentación y antecedentes propios del paciente.

> Factores no locales. Aquellos que son dependientes del estilo de vida o características del paciente, así como de las condiciones propias de la fractura como lo son la conminución, la presencia de movimiento anormal del foco de fractura o del desarrollo de infección en la zona.

Colino y colaboradores (2008)⁴⁵ agregaron además los factores asociados al tratamiento, realizando de esta manera una clasificación en la que se aprecian claramente las diferencias entre las razones provenientes del paciente, las características de la fractura y las condiciones pre, trans y postquirúrgicas (ver tabla 6):

> Factores generales.

- Carencias nutricionales: Principalmente se refieren a las deficiencias de vitamina D. Existe evidencia que muestra que los pacientes que generaron pseudoartrosis tenían deficiencia de esta vitamina.
- Alteraciones metabólicas: Los desórdenes de los sistemas endócrinos y metabólico, como paratiroidismo, hipogonadismo y alteraciones en los sistemas reguladores de calcio (tiroideos) se encuentran estrechamente relacionados a la aparición de pseudoartrosis.
- Exposición a radiación: Cuando el paciente fue sometido a altos niveles, sobrepasando los 5000 rads se interferirá con el proceso de consolidación.
- Fármacos: Algunos fármacos a dosis elevadas y después de largos periodos de administración pueden interferir con el proceso de formación del callo de fractura. Algunos anticoagulantes, antineoplásicos, corticoides y AINES se han identificado como posibles entorpecedores del proceso de consolidación ósea.
- Toxicomanías: El consumo de alcohol y sobre todo de tabaco, afectan directamente la función de los vasos pequeños, dejando la zona lesionada sin un aporte sanguíneo adecuado.

> Factores Locales.

- Localización anatómica concreta: Debido a su posicionamiento, algunas estructuras se encuentran en desventaja frente a otras, específicamente por la inestabilidad o falta de irrigación sanguínea.
- Fractura abierta: Debido al mecanismo de lesión, una fractura abierta representa mayor riesgo de generar pseudoartrosis debido a la posibilidad de aparición de infección, a la lesión de los tejidos periféricos o la interposición de segmentos de tejidos blandos que pudieran interferir con la formación de callo óseo.
- Conminución de la fractura: Debido a la cantidad de fragmentos lesionados es más complejo el proceso de reparación por la alteración del aporte sanguíneo y la separación entre estos.

- Presencia de infección: Una infección entorpecerá las fases de reparación ósea, la presencia de una infección llega a generar hasta el 25% de los casos de pseudoartrosis.

> Factores asociados al tratamiento.

- Tratamiento ortopédico inadecuado: Estos factores se asocian principalmente a la incorrecta inmovilización del segmento lesionado, así como a la falta de estímulo mecánico necesario, sobre todo en los miembros superiores.
- Reducción abierta mal indicada: Se refiere al hecho de que la reducción no se llevó a cabo de manera adecuada provocando una alteración en la zona fracturada, la cual resulta en pseudoartrosis.
- Uso de material de osteosíntesis inadecuado o incorrectamente colocado: Hace referencia al uso inadecuado de materiales de osteosíntesis, como fijaciones incorrectas, sistemas de fijación mal utilizados o a la colocación insuficiente de clavos/tornillos.

Tabla 6: Clasificación de factores que favorecen la aparición de pseudoartrosis.

Factores Generales	Factores Locales	Asociados al tratamiento
<ul style="list-style-type: none"> · Carencias nutricionales · Alteraciones metabólicas · Exposición a radiación · Fármacos · Toxicomanías 	<ul style="list-style-type: none"> · Localización anatómica · Fracturas abiertas · Fracturas multifragmentadas · Fracturas infectadas 	<ul style="list-style-type: none"> · Tratamiento ortopédico inadecuado · Reducción abierta mal indicada · Material de osteosíntesis inadecuado o colocado incorrectamente

Fuente: Colino et. Al. (2008). Elaboración: Propia

7.- Epidemiología

El porcentaje de incidencia varía de acuerdo al autor consultado y del lugar en que se hayan llevado a cabo dichas investigaciones. Este dato en la población mexicana no es del todo claro debido a la falta de información confiable. En el estudio mexicano de Mora et. al. (2012), mencionan una incidencia de aparición de pseudoartrosis del 2%, predominantemente en la tibia y fémur, apareciendo más comúnmente en hombres en edad productiva y debido a traumatismos de alta energía⁴⁸, mostrando porcentajes menores a los reportados en cifras internacionales.

Sin embargo, debido a la falta de bibliografía reciente y que el estudio fue realizado a pequeña escala estos valores deben ser interpretados cuidadosamente.

La incidencia de aparición de la pseudoartrosis se reporta en la gran mayoría de la bibliografía de entre el 5 al 10% de todas las fracturas^{6, 48-51} con tendencia a aumentar debido a la constante progresión de la edad en la población.¹ Ciertamente es un porcentaje no despreciable con la

capacidad de afectar a un gran número de individuos tanto en edad productiva como en adultos mayores. Mills et, al. (2013), mencionan en su estudio epidemiológico que, del total de las pseudoartrosis analizadas en un periodo de 5 años, el 30% pertenecían a la población de 60 años o más.⁵²

El riesgo de desarrollar pseudoartrosis tiende a aumentar debido a los antecedentes que el paciente presente, a sus características personales, así como a las características de la fractura; es decir, entre mayor conminución de fragmentos óseos o en presencia de infecciones el riesgo se incrementará exponencialmente, a comparación de una fractura cerrada o de un solo trazo. De igual manera, existen ciertas estructuras óseas que son más propensas a desarrollar ya sea retardo de la consolidación o pseudoartrosis debido a sus características topográficas y anatómicas, como tal es el caso del hueso escafoides en el carpo y la porción distal de la tibia en las extremidades inferiores.⁴⁵

Aunque la pseudoartrosis puede presentarse en cualquier nivel, es predominante su aparición a nivel de metáfisis y de diáfisis. Los segmentos óseos más afectados son el fémur y la tibia en el miembro inferior y el húmero en la extremidad superior. En el fémur la zona específica más común es la supracondílea, llegando a representar 10 % de los casos. Existe un sesgo en las fracturas en zona trocantérica del fémur debido a los reemplazos de cadera.^{1, 45, 52}

En un adulto con pseudoartrosis sin otras complicaciones o antecedentes de importancia, se estima que se someterá a 1.5 intervenciones quirúrgicas, aproximadamente, para corregir la patología si la pseudoartrosis es aséptica y esta cifra se elevará hasta 3.4 intervenciones quirúrgicas si se genera algún proceso infeccioso.⁴⁵

8.- Tratamiento

8.1.- Tratamiento conservador

Este tipo de tratamiento es muy poco utilizado como recomendado. Básicamente se refiere al tipo de tratamiento en que solamente se inmoviliza la zona afectada por la pseudoartrosis haciendo uso de yesos o férulas, por lo que no es raro que se obtengan resultados muy desalentadores y negativos ya que es más que evidente que la pseudoartrosis establecida requiere de intervenciones específicas y aunque existe cierto porcentaje de casos en que se llega a desencadenar una consolidación espontánea, las probabilidades de obtener una consolidación exitosa son prácticamente nulas.¹¹

Generalmente el tratamiento conservador es aplicado a aquellos pacientes que presentan una pseudoartrosis estable y no dolorosa y en los adultos mayores que presentan condiciones comórbidas que impiden la cirugía o que la tornan muy riesgosa, siempre y cuando su funcionalidad no se vea afectada lo suficiente como para impedirles realizar sus actividades diarias.⁴¹

8.2.- Tratamiento quirúrgico

Previo a la elección quirúrgica, cuando existen focos pseudoartrósicos infectados el tratamiento comenzará con la resolución de este proceso infeccioso. Por tanto, se debe realizar un desbridamiento del tejido contaminado y evaluar el tipo de terapia de profilaxis adecuada. Una vez resuelta la infección el tratamiento se continúa con la colocación del material de osteosíntesis adecuado.^{41, 45}

El tratamiento quirúrgico de las pseudoartrosis es siempre un proceso muy complejo y consume una gran cantidad de recursos en cuanto a tiempo y gastos económicos. El abordaje quirúrgico supone riesgos tales como la pérdida de sangre, el riesgo de infección o reinfección y la aparición de complicaciones en el sitio donante, en caso de que sea complementado con algún injerto óseo autólogo.^{1, 51}

Las técnicas de tratamiento quirúrgico implementadas en la actualidad han sufrido algunas modificaciones desde hace aproximadamente medio siglo. Lo más utilizado para tratar las pseudoartrosis consiste en distintas técnicas de fijación tanto interna como externa. Actualmente, el abordaje quirúrgico mediante fijación interna es el más utilizado para el tratamiento de pseudoartrosis hipertróficas mientras que el tratamiento mediante fijación externa (Técnica de Ilizarov) es el predilecto para las pseudoartrosis atróficas.⁵¹

Las técnicas quirúrgicas más comúnmente implementadas como la fijación mediante placas, clavo intramedular o los dispositivos de fijación externa (explicadas más adelante), aportan rangos de éxito de consolidación que varían entre el 75% y el 100% produciendo tasas de consolidación bastante aceptables en la mayoría de los casos, aunque no dejan de estar exentas de riesgos, complicaciones y de fracaso del tratamiento.^{1, 21, 45}

> Fijación Interna

La fijación interna es una de las técnicas más comúnmente recomendadas y utilizadas para el tratamiento de la pseudoartrosis de huesos largos, haciendo uso, principalmente, de la fijación mediante placas.^{41, 51}

Placa Interna

Para este tipo de procedimiento se hace uso de placas de distintos materiales metálicos, sus características principales constan en la minimización del potencial de generar infección a través del canal medular, puede facilitar la colocación del injerto en el sitio requerido y en caso de que exista una mala alineación además de la pseudoartrosis, se puede corregir simultáneamente.^{11, 45}

La fijación mediante placas se reserva para las pseudoartrosis asépticas y el método es muy similar al tratamiento de una fractura convencional. El uso de placa como tratamiento es más útil cuando la pseudoartrosis se encuentra en la zona metafisaria ya que aporta mayor estabilidad a la zona.^{41, 45}

Garbayo y colaboradores (2014), mencionan que en presencia de hueso osteoporótico es conveniente utilizar como método de fijación el uso de placas bloqueadas, a diferencia de la intervención con placa simple, estas aportan mayor estabilidad y por ende menor riesgo de aflojamiento. Concluyen que utilizar las placas bloqueadas en los ancianos con pseudoartrosis y en pacientes con osteoporosis proporcionan una fijación más estable y duradera dando como resultado un mayor porcentaje de éxito de consolidación.⁵³

Clavo intramedular

El uso de clavo intramedular está indicado tanto en pseudoartrosis atróficas e hipertróficas, siendo más comúnmente utilizadas en estas últimas, siempre y cuando sean asépticas.

Es más frecuente su utilización en huesos largos y que soportan una gran carga como es el caso de las extremidades inferiores, proporcionando estabilidad en el foco de fractura y teniendo como finalidad reconducir las fuerzas de carga axialmente provocando un efecto beneficioso para la extremidad afectada.⁴⁵

> Fijación Externa

Crowley y cols. (2007) se refieren a la fijación externa como uno de los tres principales métodos de intervención quirúrgica para el tratamiento de las pseudoartrosis de huesos largos. Este método se utiliza cuando hay compromiso vascular y lesiones bastante extensas de los tejidos blandos circundantes a la zona de la fractura. Sin embargo, el alto grado de inmovilidad puede ser contraproducente para el proceso de formación de callo óseo debido a la eliminación de estímulos mecánicos que contribuyen a su correcta formación. Así mismo, se deben aplicar los principios generales del tratamiento que se componen de: Realineación, estabilización y estimulación.¹¹

La elección del método de fijación externa dependerá de las correcciones que se deban realizar en los determinados segmentos óseos (simples o complejas) así como de la zona a tratar (fijadores circulares o mono-laterales en huesos largos).^{45, 54}

La técnica mayormente empleada es la técnica de Ilizarov^{41, 45, 54, 55}, cuyas características principales es la conservación en mayor grado posible de la integridad de los tejidos blandos, así como de las estructuras vasculonerviosas.

Mediante el uso de fijación externa se logra proporcionar un grado bastante adecuado de estabilidad del sitio dañado ya que confiere estabilidad tanto en los movimientos de traslación y de rotación en planos coronal y sagital a la vez que es posible mantener cierto grado de micro movimiento en el plano axial lo cual ayuda a que exista una estimulación de la formación ósea. Otro de los beneficios aportados por este tipo de tratamiento es que mediante la fijación externa circular se pueden corregir a la vez los defectos en alineación, angulación o en rotación mientras se mantienen sin daños las estructuras blandas cercanas a la zona dañada, manteniendo así el adecuado entorno biológico y local.^{12, 55}

8.3.- Tratamiento Biológico.

El tratamiento biológico de la pseudoartrosis se refiere principalmente al uso de técnicas ortobiológicas como lo son el uso y desarrollo de injertos óseos y aplicación de células y mediadores de la respuesta ósea, generalmente es aplicada cuando el hueso a tratar es osteoporótico, cuando las intervenciones quirúrgicas previas han fallado (pseudoartrosis persistentes) o cuando ha habido una importante pérdida del tejido.¹¹

Esta técnica puede ser aplicada por sí sola o combinada con distintas técnicas de fijación interna o externa, complementando el tratamiento y es actualmente la técnica de elección para el tratamiento de la pseudoartrosis.^{5, 11, 12, 56}

> Injertos óseos

El injerto óseo ha demostrado disminuir los tiempos de consolidación de las fracturas. Su utilización es mucho más común cuando es combinado con técnicas de fijación interna ya que el sitio de fractura quedará inevitablemente expuesto. Así mismo, los injertos son ampliamente utilizados en hueso

envejecido y las cifras aumentan considerablemente debido al constante aumento de la población geriátrica.²⁹

El autoinjerto se considera ideal en cuanto a seguridad y efectividad para este tipo de procedimientos evitando el rechazo a este, entregando una combinación de células madre osteogénicas, factores de crecimiento osteoinductivo y osteoconductor en la zona afectada. El injerto óseo autólogo se utiliza como parte importante del actual estándar de tratamiento quirúrgico de la pseudoartrosis debido a los altos porcentajes de consolidación mostrados.^{29, 41}

La limitación de este tipo de técnicas son el desarrollo de las posibles comorbilidades del sitio de donde se extraerá el injerto óseo. Las complicaciones más típicas incluyen la lesión a las estructuras nerviosas y vasculares circundantes, la pérdida masiva de sangre y el intenso dolor residual (post quirúrgico) en el sitio del procedimiento.¹¹

> BMP's (Bone Morphogenetic Proteins)

En la actualidad se han descrito aproximadamente 20 subtipos de estos agentes estimuladores del hueso, sin embargo, se han identificado que aquellas que inducen la reparación ósea son las BMP 2, 7 y 9, promoviendo la diferenciación de células osteoprogenitoras a osteoblastos y de estas solamente se encuentran disponibles para su uso clínico las BMP's 2 y 7.^{45, 56}

Actualmente el uso de BMP's es considerado una de las opciones terapéuticas más seguras y eficaces. Incluso se hace mención sobre que el tratamiento con estos estimuladores biológicos llegan a ser hasta un 40% más económicos en comparación con varias cirugías fallidas. Para que la terapia biológica consiga éxito deben existir previamente células y tejidos viables en la zona.¹¹

> Otros factores de crecimiento

En este grupo se encuentran aquellas proteínas que intervienen en la reparación del tejido esquelético promoviendo división, diferenciación y proliferación celular, entre ellos algunos de los Factores transformantes del crecimiento (TGF-B), Los factores similares a insulina (IGF) y los Factores de crecimiento derivados de las plaquetas (PDGF) son los más estudiados para su uso clínico y aunque se han realizado intervenciones mayormente en estudios animales, se han identificado características de cada uno de ellos que puede contribuir a la reparación de defectos óseos y mejorar los procesos de consolidación mediante la estimulación de los mecanismos que inducen la diferenciación celular y proliferación no solo ósea si no incluyendo además angiogénesis, como en el caso de los PDGF.^{29, 41, 45}

8.4.- Tratamiento basado en el Concepto del diamante.

Este concepto que fue propuesto por Giannoudis (2007), hace mención a las cuatro características principales que deben estar presentes para lograr una consolidación ósea exitosa, agregando un concepto más a los 3 ya existentes y dándole a la estabilidad mecánica un papel importante para lograr la consolidación ósea. De esta manera el concepto triangular pasó a ser el concepto del diamante. (ver imagen 3)^{12, 57}

Los elementos que lo conforman interactúan entre sí para promover la reparación del tejido esquelético dañado. La presencia de células osteogénicas: Estas serán las encargadas de aportar los factores necesarios para la formación de nuevas células óseas. Factores de crecimiento: que

serán los responsables de inducir la diferenciación y proliferación de las nuevas células formadas previamente, y la matriz extracelular que funge como el andamio de reparación, brindará el soporte estructural para que el nuevo tejido se forme, eran originalmente los 3 conceptos principales que se abordaban mayormente al momento de considerar el tratamiento de la pseudoartrosis. En tiempos recientes se ha agregado un cuarto concepto, la estabilidad y soporte mecánico en el sitio de fractura, pues es bastante conocido que aun con el ambiente celular adecuado no se logrará una consolidación exitosa si no existe la estabilidad mecánica adecuada.⁵⁷



Imagen 3: Concepto del diamante para la consolidación ósea (adaptado de Giannoudis et. al. 2007)⁵⁷

Este modelo combina un tratamiento que incluye intervención tanto en el ambiente biológico y celular como las características mecánicas del sitio lesionado y no los separa, como se hacía anteriormente, para poder realizar una intervención completa y con mayores probabilidades de éxito terapéutico. El actual tratamiento para la pseudoartrosis toma este concepto como base.^{1, 12, 41, 45, 57}

Actualmente el llamado “estándar de oro”, que es mencionado por distintos autores en diversos estudios, sugieren que el tratamiento debe constar de: desbridamiento y limpieza de los bordes óseos, colocación de fijación estable de los segmentos, ya sea mediante técnicas de fijación interna o externa, según requiera el caso y, finalmente y gracias a los avances actuales de las técnicas biológicas, implementar la colocación de injerto óseo autólogo. Implementando este modelo de tratamiento se logran obtener porcentajes de consolidación que oscilan entre el 80%-96% aproximadamente.^{11, 12, 51, 56, 57}

El uso de injertos se utiliza mayormente en el caso de las pseudoartrosis hipertróficas debido a que se consideran comúnmente como activas biológicamente, sin embargo, estudios actuales sugieren que las pseudoartrosis oligo o hipotróficas también poseen un buen potencial de curación.^{41, 58}

En la actualidad las nuevas técnicas de tratamiento, tanto quirúrgicas como no invasivas, continúan siendo estudiadas y desarrolladas. Tal es el ejemplo de la técnica de “astillado” desarrollada por Watanabe y Matsuhita (2017), en el que mediante un proceso de astillado o troceado de la zona con la pseudoartrosis y en combinación con fijación externa, se trata a la vez la no unión y los posibles

defectos de alineación o discrepancias entre extremidades, sin necesidad de utilizar un injerto óseo o alguna otra terapia biológica complementaria.⁵⁸

El uso de técnicas biológicas como los injertos óseos es actualmente uno de los tratamientos de primera elección para corregir los TC.⁴ El tratamiento quirúrgico es actualmente la primera elección frente a la pseudoartrosis o en los retardos de la consolidación³ sin embargo no existe aún una modalidad definitiva.³⁷

X) MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica sistemática mediante una búsqueda electrónica en las bases de datos: PubMed Central, BioMed Central, SciELO, Google Scholar, Elsevier y PEDro. Las palabras clave utilizadas fueron: Pseudoartrosis, Fisioterapia, Geriatria y Trastorno de la consolidación. Durante la búsqueda en las distintas bases de datos se utilizaron las palabras clave tanto en idioma español como su respectiva traducción al idioma inglés.

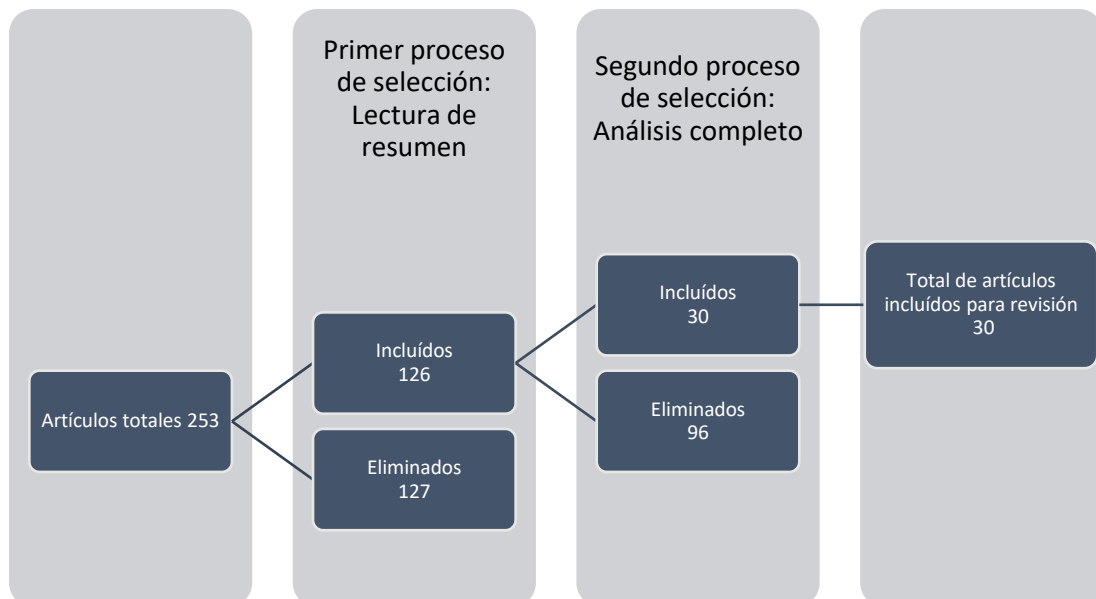
Los criterios de inclusión aplicados fueron:

- Artículos que estuviesen escritos en idioma español o inglés
- Publicados entre los años 2000-2017
- Que hiciera mención de tratamiento fisioterapéutico
- Que contemplara pseudoartrosis en cualquier segmento corporal (MM SS, MM II, tronco, cráneo)

A su vez, los criterios aplicados para exclusión fueron los siguientes:

- Que el tratamiento no fuera aplicado a humanos
- Que se haya aplicado solamente en pacientes menores de 55 años
- Que solamente se mencione tratamiento médico-quirúrgico.
- Cuando se trataba de una pseudoartrosis congénita

De la búsqueda se recopilaron un total 253 artículos, de los cuales se aplicó un primer proceso de descarte el cual consistió solamente en la lectura del resumen del artículo. Aquellos que no cumplieran con los criterios de inclusión o estuvieran duplicados se descartaron, dejando un total de 126 artículos para el segundo proceso de selección. El segundo proceso de elección se aplicó a aquellos artículos incluidos tras el primer proceso de selección, esta vez se realizó la lectura y análisis completo del artículo para identificar si efectivamente cumplían con los criterios de inclusión. Al finalizar el segundo proceso se descartaron 96 artículos dejando así un total de 30 artículos que fueron incluidos finalmente.



XI) RESULTADOS

Posteriormente a la aplicación de los procesos tanto de inclusión como de exclusión, se recopilaron finalmente 30 artículos.

Tras su completo análisis se identificaron distintas modalidades de tratamiento que se basan principalmente en la utilización de agentes físicos como herramientas terapéuticas disponibles en fisioterapia para el tratamiento tanto de la pseudoartrosis como de otros trastornos de la consolidación ósea. Las intervenciones principalmente descritas fueron las siguientes:

Estimulación eléctrica (EE)

Los artículos recopilados que abordan el tratamiento de la pseudoartrosis mediante la aplicación de estimulación eléctrica representan solamente el 3.33% del total de artículos (ver tabla 7).

Se tiene evidencia de trabajos enfocados a estudiar la respuesta del tejido óseo a la aplicación de corriente eléctrica desde finales del siglo XIX, sin embargo, fue aproximadamente hasta mediados del siglo XX que comenzaron a proliferar los estudios encaminados a describir e identificar los efectos en la reparación del tejido óseo tanto en modelos animales como su aplicación en humanos.⁵⁹

> Estimulación Eléctrica Galvánica Transcutánea

La modalidad de estimulación eléctrica encontrada para el tratamiento de este defecto de la consolidación es mediante la aplicación de corriente galvánica, este método se encuentra actualmente aceptado y aprobado para su uso por parte de la FDA.⁶⁰ Consiste en la aplicación de una corriente eléctrica ininterrumpida colocando los electrodos en la zona lesionada de manera transcutánea, percutánea o directamente en la corteza del hueso, fundamentándose en que la aplicación de corriente directa a través de pulsos resulta ser menos efectiva que la aplicación de corriente eléctrica directa y constante⁶¹, por lo que no resulta del todo inesperado que la cantidad de artículos recientes referentes al método en la intervención fisioterapéutica sea relativamente escasa.^{60, 61}

Calderón (2001), menciona que existe un comportamiento distinto de las células osteogénicas al someterse a corriente pulsada o directa. Menciona que mediante la estimulación directa y constante las células periósticas son activadas de tal manera que tienden a diferenciarse en osteoblastos y finalmente en osteocitos. Por otra parte, cuando la aplicación de corriente se realiza de manera discontinua las células osteoprogenitoras se comportan de manera distinta, observándose una diferenciación de éstas principalmente a tejido fibroso y conectivo, en un periodo de solamente 24 horas.⁶¹

Efectos Biológicos

Los efectos biológicos identificados en el tejido óseo tras la aplicación de corriente galvánica son los siguientes:^{60, 61}

- Induce a la creación de un medio alcalino propicio para fomentar la reparación ósea.
- Estimulación de condroblastos, osteoblastos y osteocitos.

- Aumento del AMP Cíclico.
- Aumento en las concentraciones de iones Ca en la zona.
- Aumento en la síntesis de factores de crecimiento (BMP's 2, 6 y 7).

Parámetros

El método de aplicación consistió en la colocación directa de dos electrodos de placa de forma no invasiva en los tejidos circundantes a la región lesionada. El cátodo se colocó directamente sobre la zona del defecto óseo mientras que el ánodo se posicionó de manera proximal en los tejidos adyacentes. La estimulación eléctrica galvánica transcutánea se aplicó diariamente durante un periodo de 2 meses (42 sesiones) utilizando una dosis sub-umbral de 1 mA.⁶¹ Otros estudios sugieren que la osteogénesis se obtiene como resultado con la aplicación de 5 a 100 μ A.^{60, 61}

Contraindicaciones

Las contraindicaciones del método son básicamente aquellas aplicadas a la estimulación eléctrica superficial, enfatizando en la presencia de infecciones ya desarrolladas, así como la existencia de bordes óseos no viables y que el paciente presente enfermedades sistémicas no controladas.^{59, 61}

Resultados

Los porcentajes de éxito alcanzados con la aplicación de estimulación eléctrica llegan al 88.88%, logrando reactivar la respuesta ósea en un periodo de tiempo mucho más corto comparado con la intervención invasiva.⁶¹

Una de las ventajas principales del método es que se realiza de manera no invasiva (transcutánea) por lo que los electrodos son fácilmente colocados y retirados sin necesidad de atravesar la piel del paciente, lo cual elimina la posibilidad de que se desarrolle una infección durante el transcurso del periodo de tratamiento.⁶⁰ También se eliminan los posibles daños a los tejidos blandos circundantes al área de intervención por lo que se podría esperar una mejor adhesión al tratamiento por parte del paciente.⁶¹

Tabla 7: Artículos recopilados sobre Estimulación Eléctrica

Autor	Tipo de estudio	Año	Método empleado	Parámetros	Porcentajes de consolidación	Tiempo empleado
Calderón, J. et. al ⁶¹	Estudio cuasi experimental	2001	Estimulación Galvánica Transcutánea	Estimulación eléctrica galvánica transcutánea 10 min/día A 1mA 42 sesiones	77.7% total Grupo A: 88.8%	2 meses de tratamiento 18.11 meses en obtener consolidación completa

Electromagnetismo (EM)

Los artículos recopilados que abordan el tratamiento de la pseudoartrosis mediante electromagnetismo representan solamente el 10% del total de artículos.

> Campos Electromagnéticos Pulsados (PEMF)

El uso de campos electromagnéticos pulsados se aplica basándose en la estimulación del efecto piezoeléctrico en las células osteogénicas, con la finalidad de promover la reparación de la zona afectada.^{60, 62}

La aplicación de corriente electromagnética se realiza mediante la colocación del equipo, que generalmente contiene dos bobinas, quienes estarán destinadas a proveer corriente eléctrica a través de los tejidos (Acoplamiento inducido). Simultáneamente, un campo electromagnético formado entre estas dos bobinas será la zona donde se generarán los efectos con mayor intensidad, es por esto que la zona de la lesión debe quedar entre estas. Los campos varían su tamaño dependiendo del tipo de tejido y de dónde se encuentre el sitio de fractura. Generalmente oscilan entre 1 a 100 mV/cm. Sin embargo, los mecanismos que desencadenan las respuestas a nivel celular siguen siendo debatibles y no se encuentran muy bien definidos.⁶⁰

Efectos biológicos

Los principales efectos que se encuentran identificados son^{59, 62, 63}:

- Aumento en la de síntesis de proteínas.
- Regulación en la transcripción de genes.
- Estimulación de ciertos receptores externos de la membrana celular, así como el incremento del transporte de calcio a través de esta.
- Estimulación de la segregación y diferenciación de ciertos factores de crecimiento (BMP-2, TGF- β).

Aun con los efectos benéficos identificados hasta la fecha, la estimulación eléctrica presenta también ciertas desventajas. La principal desventaja es la aplicación de los inductores del campo, la disponibilidad del equipo y la técnica de aplicación, puesto que el tratamiento es de uso continuo.

Parámetros

Los parámetros utilizados en los estudios consultados (ver tabla 8) hacen uso de bajas frecuencias con un ciclo de repetición de 75 Hz, la intensidad variaba según los autores entre 10 a 20 A/cm y con Voltajes de entre 180 a 220 V. El funcionamiento del equipo va de las 3 hasta las 12 horas de emisión continua, teniendo que ser usado diariamente por el paciente.^{59, 62, 63}

Contraindicaciones

Las contraindicaciones más comunes para este tratamiento son⁵⁹:

- Presencia de infección en la zona a tratar.
- Pérdida importante de hueso (mayor a 5mm).

- Que no exista estabilidad suficiente, ya que el método demanda una correcta estabilidad del segmento que está sometido a tratamiento.

Resultados

Los resultados de los estudios analizados cuya intervención se basa en la aplicación de campos electromagnéticos pulsados muestran porcentajes de curación de la pseudoartrosis en rangos que oscilan del 77% al 86% en un periodo de tiempo que abarca de los 4 a los 7 meses. Además, no se reportaron resultados contraproducentes o la aparición de efectos secundarios.

La desventaja de este tipo de tratamiento reside en los tiempos de aplicación del tratamiento que se prolonga por meses y debe ser de uso diario, extendiéndose en algunas ocasiones hasta por 12 horas de uso continuo, agregando que se deben realizar durante este periodo de tiempo revisiones constantes del correcto funcionamiento del equipo.^{59, 62, 63}

Tabla 8: Artículos recopilados sobre Electromagnetismo

Autor	Tipo de estudio	Año	Método empleado	Parámetros	Porcentajes de consolidación	Tiempo empleado
Assiotis, A. et. al ⁵⁹	Estudio prospectivo	2012	PEMF	No especifica. 3hrs/día. Máximo de 36 semanas	77.3% (34/44)	7.37 meses
Cebrian, J. ⁶³	Estudio de cohortes retrospectivo	2010	PEMF	Frecuencia 75 Hz. Intensidad 10-20 A/cm Tiempo de pulso: 1.3 μ s Voltaje: 180-220 V 8 hrs/día	86% (49/57)	5.6 meses
Gupta, K. et. al ⁶²	Estudio clínico prospectivo	2009	PEMF	30 V CD. Frecuencia: 75 Hz Intensidad: 0.008 Weber/m ² 12 hrs/día	85% (38/45)	4 meses

Ultrasonido terapéutico (LIPUS)

El total de artículos incluidos que utilizan el ultrasonido terapéutico como modalidad principal es del 33.33%.

El Ultrasonido terapéutico es una modalidad de tratamiento no invasivo que emplea el uso de ondas acústicas que portan frecuencias siempre por encima de los 20,000 ciclos por segundo (Hz/s), con la finalidad de producir efectos tanto térmicos como mecánicos en el entorno celular buscando generar distintos efectos dependiendo de su aplicación, dirigidos a promover la reparación de los tejidos tanto blandos como del tejido óseo.⁶⁴

La profundidad alcanzada en los tejidos blandos utilizando los parámetros establecidos y aceptados por la FDA para la aplicación terapéutica del ultrasonido va de los 2 a los 5 cm, aproximadamente. Sin embargo, existe también un efecto de atenuación de la onda acústica que va a depender de las características del tejido en que se esté aplicando y de la profundidad alcanzada.

En el tejido óseo la atenuación es especialmente alta debido a su contenido de colágeno.^{64, 65} La aplicación de ultrasonido encaminado al tratamiento de patologías óseas deber ser, por lo tanto, utilizando parámetros que nos permitan el poder alcanzar la profundidad necesaria y aplicar al mismo tiempo la energía suficiente para promover los efectos mecánicos que ayudarán a comenzar con la reparación del tejido dañado.⁶⁴

Para este efecto, la modalidad adecuada para el tratamiento de los defectos óseos es utilizando la función pulsada de ultrasonido de baja intensidad. Los principales efectos de esta modalidad son aquellos que no se producen debido a los cambios térmicos en el tejido, es decir, los efectos mecánicos, y aunque se ha demostrado que, aunque se utilice la modalidad pulsada se generará cierto aumento de temperatura, sin embargo, esta elevación no será de suficiente magnitud como para producir reacciones relacionadas a los efectos térmicos.⁶⁵⁻⁶⁸

Efectos Biológicos

Los principales efectos mecánicos identificados que provee el ultrasonido son^{41, 64, 66}:

- Aumento de los niveles de calcio intracelular, así como de la permeabilidad celular.
- Aumenta la síntesis proteica de los fibroblastos.
- Aumento de las cantidades de óxido nítrico y su consecuente aumento de flujo sanguíneo en la zona.
- Promueve una mayor actividad en la síntesis de proteoglicanos en los condrocitos.

Los efectos inducidos debido a la aplicación de ultrasonido pulsátil de baja frecuencia tienen acción en los principales mediadores de la cicatrización tisular, debido a que se regula y aumenta la actividad de células y factores que promueven tanto la síntesis de proteínas y otros mediadores de reparación a la vez que aumenta la actividad vascular de la zona, mejorando así el abastecimiento de nutrientes que serán necesarios para que se lleve a cabo la reparación del tejido.⁶⁴

La cantidad de estudios realizados con la finalidad de tratar distintos defectos en la consolidación ósea en muy variadas regiones anatómicas, no son nada despreciables y se han encontrado distintos niveles de evidencia que recomiendan el uso del ultrasonido terapéutico de baja intensidad como una herramienta de utilidad frente a esta creciente problemática, logrando obtener porcentajes de

consolidación que podrían ser equiparables a los obtenidos mediante la implementación de otras técnicas de carácter más invasivo.^{67, 69, 70}

La literatura recopilada y analizada describe la intervención mediante el uso de ultrasonido pulsado de baja intensidad como una herramienta útil y complementaria para la intervención de defectos óseos. Sin embargo, a pesar de los resultados favorables que se han reportado, se menciona que el abordaje arrojará mejores resultados mientras más temprana sea su aplicación y va disminuyendo mientras más crónica sea la lesión.^{65, 71, 72}

Parámetros

Fue gracias a los estudios ya realizados anteriormente en modelos animales y los trabajos actuales aplicados en humanos, que se obtuvo la reciente aprobación por parte de la FDA para el uso terapéutico del ultrasonido en las fracturas no consolidadas, estos trabajos han sentado las bases para establecer los parámetros utilizados para estos fines.¹⁸⁻²⁰ Es debido a esto que los parámetros aplicados en los estudios son tan similares, puesto que se apegan a los parámetros ya establecidos y respaldados por parte de esta organización.

La dosis terapéutica recomendada y la mayormente reportada en los estudios es la aplicación de ultrasonido de baja frecuencia en modalidad pulsada al 20% del ciclo de trabajo, con una frecuencia de 1.5 MHz, utilizando una intensidad de 0.15 W/cm², aplicados diariamente por un periodo de tiempo mínimo de 20 minutos. Tales parámetros se encuentran generalmente preestablecidos en el dispositivo utilizado y no es posible para el paciente cambiar esta configuración por seguridad propia. El tiempo de tratamiento varía dependiendo del estudio realizado, pero se reportan tiempos de uso que van desde los 2 meses hasta los 7 meses.

Contraindicaciones

Las contraindicaciones establecidas para el tratamiento mediante el uso de ultrasonido pulsado de baja intensidad en su aplicación son^{64, 66}:

- Presencia de infección en la zona de aplicación del tratamiento.
- Directamente sobre estructuras nerviosas.
- Alteraciones de la circulación sanguínea.
- Aplicación sobre placas epifisiarias.
- Sobre tumores malignos.

Resultados

La aplicación de ultrasonido terapéutico de baja frecuencia como tratamiento de la pseudoartrosis arroja porcentajes de éxito en la consolidación que van desde el 73% al 100% en periodos de tiempo que abarcan en promedio de 4 a 7 meses de tratamiento con una duración mínima de 20 minutos, diariamente (ver tabla 9).

Una de las grandes ventajas de este método es que no se encontró en los artículos recopilados el reporte de efectos adversos o complicaciones durante el periodo de tratamiento utilizando el ultrasonido terapéutico^{65, 67,69-75}, lo cual lo convierte en una herramienta de gran utilidad y lo suficientemente seguro para el tratamiento de pacientes geriátricos.

Tabla 9: Artículos recopilados sobre Ultrasonido Pulsado de baja intensidad (LIPUS)

Autor	Tipo de estudio	Año	Método empleado	Parámetros	Porcentajes de consolidación	Tiempo empleado
Gebauer, D. et. al. ⁶⁹	Estudio de controles apareados	2005	LIPUS	Frecuencia: 1.5 MHz Intensidad: 0.15 W/cm ² Ciclo de trabajo: 20% 20 min/día	85% (57/67)	168 ± 10.2 días (5.6 meses)
Hemery, X. et. al. ⁶⁷	Estudio retrospectivo de serie de casos	2011	LIPUS	Frecuencia: 1.5 MHz Intensidad: 0.15 W/cm ² Ciclo de trabajo: 20% 20 min/día	79% (11/14)	5.3 meses
Joshy, S. et. al. ⁷⁰	Estudio retrospectivo de casos	2007	LIPUS	Frecuencia: 1.5 MHz Intensidad: 0.30 W/cm ² Ciclo de trabajo: 20% 20 min/día	100% (7/7)	7.25 meses
Lupean, A. et. al. ⁶⁵	Estudio de serie de casos prospectivo	2013	LIPUS	No especifica 20 min/día	83% (5/6)	2 meses
Nolte, P. et. al. ⁷³	Estudio de controles apareados	2001	LIPUS	Frecuencia: 1.5 MHz Intensidad: 0.15 W/cm ² Ciclo de trabajo: 20% 20 min/día	86% (25/29)	4.25 meses
Pigozzi, F. et. al. ⁷⁴	Estudio prospectivo longitudinal	2004	LIPUS	Frecuencia: 1.5 MHz Intensidad: 30 mW/cm ² Ciclo de trabajo: 20% 20 min/día	100% (15/15)	4.56 meses
Povlsen, S. Povlsen, B. ⁶⁸	Presentación de caso	2015	LIPUS	Frecuencia: 1.5 MHz Intensidad: 0.15 W/cm ² Ciclo de trabajo: 20% 20 min/día	100% (1/1)	4 meses
Roussignol, X. et. al. ⁷¹	Estudio retrospectivo	2012	LIPUS	Frecuencia: 1.5 MHz Intensidad: 30 mW/cm ² Ciclo de trabajo: 20% 20 min/día	88% (52/59)	5.03 meses
Rutten, S. et. al. ⁷⁵	Estudio de casos	2007	LIPUS	Frecuencia: 1.5 MHz Intensidad: 30 mW/cm ² Ciclo de trabajo: 20% 20 min/día	73% (52/71)	6.2 meses
Zura, R. et. al. ⁷²	Estudio retrospectivo observacional de cohortes	2015	LIPUS	Frecuencia: 1.5 MHz Intensidad: 0.15 W/cm ² Ciclo de trabajo: 20% 20 min/día	86.2% (767/1286)	5.6 meses

Ondas de choque

Compuestos en su mayoría por el abordaje mediante esta intervención, representa el 53.33% del total de artículos recopilados. La aplicación de ondas de choque en el tratamiento de patologías del sistema musculoesquelético tiene sus orígenes en la aplicación de estas para la desintegración de litos renales. En los pacientes con litiasis tratados con ondas de choque se observó un aumento gradual de la densidad ósea en la zona de la cresta ilíaca, los investigadores relacionaron este evento a la aplicación de ondas de choque y se comenzaron a estudiar los efectos que estas tenían al aplicarlas en el tejido óseo, descubriendo posteriormente su potencial osteogénico.⁶⁶

Las ondas de choque son un tipo ondas acústicas de propagación lineal que pasan de una fase positiva a una fase negativa en un periodo de tiempo muy corto, es decir, producen una elevación de la presión atmosférica del nivel del ambiente a una presión máxima, pueden ser generadas por distintos medios (efectos electrohidráulicos, electroacústicos o piezoeléctricos), poseen frecuencias mucho más bajas, en comparación a las ondas generadas por el ultrasonido terapéutico, lo cual les permite alcanzar una mayor profundidad en los tejidos involucrados.^{42, 66, 76}

Su aplicación en el área ortopédica y de rehabilitación se remonta a los años 90's y los equipos actualmente utilizados son muy similares a los empleados en la litotricia extracorpórea. Las principales aplicaciones que se le dan a las ondas de choque en el tratamiento de condiciones musculoesqueléticas van dirigidas al control del dolor crónico, trastornos de la consolidación ósea, tratamiento de patologías como hombro congelado, espolón calcáneo, epicondilitis, el tratamiento de úlceras dérmicas, entre otros.⁶⁶

Efectos biológicos

Los efectos biológicos generados por el tratamiento de las ondas de choque son resultado de la interacción entre estas y el medio en que se aplican. En los tejidos las ondas de choque provocan cierto nivel de estrés mecánico que provocará de cierta manera una alternancia entre contracciones y distensiones de las partículas de gas presentes en estos, a este efecto se le conoce comúnmente como cavitación.³¹

El fenómeno de cavitación producirá, debido a la intensidad aplicada, una posterior destrucción celular controlada con la finalidad de reactivar los mecanismos de reparación de la zona para inducir la reparación de los tejidos dañados. Específicamente en el tejido óseo, se generará una estimulación osteoblástica, a la vez que se inducirán la angiogénesis, linfogénesis y el aumento tanto de factores de crecimiento como de síntesis proteica.⁶⁶

Algunos de los efectos hasta ahora identificados que son inducidos por el tratamiento mediante aplicación de ondas de choque son:^{66, 76, 77}

- Aumento de la microcirculación celular.
- Angiogénesis y Linfogénesis.
- Estimulación y promoción de la liberación de factores de crecimiento óseo y vascular (VEGF, TGF- β 1).
- Inducción de la actividad metabólica, activación de cinasas y otros factores de crecimiento (VEGF, TGF- β 1, BMP-1, BMP-2, BMP-3).
- Producción de analgesia mediante el mecanismo "Gate control".

La aplicación de ondas de choque en el tejido óseo produce microfracturas y la formación de un hematoma en la zona, por lo tanto, es capaz de reactivar el proceso de reparación ósea debido a la estimulación de la respuesta osteogénica. Las ondas de choque rompen los bordes escleróticos formados produciendo micro fisuras que mejoran el flujo sanguíneo sin elevar la temperatura, ya que la energía depositada por las ondas de choque, a comparación de la aplicación de ultrasonido, no genera un aumento significativo.⁴²

Parámetros

Las presiones utilizadas en el tratamiento mediante ondas de choque con aplicación en rehabilitación oscilan entre los 10 a los 100 MPa (mega Pascales). Tal presión equivale a varias atmósferas por cm^2 , siendo que 1 MPa equivale a 1 Bar que equivale a su vez a una atmósfera. La presión es de aproximadamente $10,2 \text{ kg/cm}^2$ por cada MPa aplicado. Estos valores energéticos se alcanzan en un periodo de tiempo bastante corto, ya que una de las características de las ondas de choque es su ciclo de vida corto. Al aplicarse la onda de choque alcanza hasta los 100 MPa en nanosegundos, cambiando inmediatamente su fase positiva a un retorno a una fase negativa en la que se alcanzan hasta -10 MPa. Este ciclo se desarrolla completamente en microsegundos.^{31, 42, 66}

Además de la presión aplicada se utiliza la densidad de flujo de energía medida en mJ/cm^2 y esta corresponde a la cantidad de energía que se aplica por centímetro cuadrado. La densidad de energía se divide en 3; baja, media o alta densidad, las características esenciales son las siguientes^{66, 77}:

- Baja energía: Comprende flujos energéticos menores o igual a 0.27 mJ/cm^2 . Su aplicación es primordialmente para generar efectos analgésicos.
- Media energía: Los flujos de energía utilizados en la aplicación media de energía comprenden de los 0.28 mJ/cm^2 a los 0.59 mJ/cm^2 . Este nivel energético es utilizado principalmente para estimular y desencadenar reacciones metabólicas.
- Alta energía: El flujo de energía utilizado es igual o mayor que 0.60 mJ/cm^2 . Es a estos niveles altos que se desencadena el fenómeno de cavitación en los tejidos. El tejido óseo reacciona mejor a los altos niveles energéticos.

La aplicación convencional de ondas de choque en tratamientos de condiciones ortopédicas normalmente consiste de la aplicación de 2000 impulsos en un tiempo aproximado de 30 min. Esta intervención generalmente se realiza con aplicación previa de anestésicos locales y comprenden de 1 a 3 sesiones aproximadamente.⁷⁶⁻⁷⁸

Los parámetros identificados en los artículos recopilados hacen uso principalmente de densidades energéticas medias y altas que van desde los 0.22 mJ/cm^2 hasta los 0.70 mJ/cm^2 , dependiendo del tamaño del hueso que será sometido a tratamiento usando densidades mayores para el tratamiento de los huesos largos como es el caso de húmero, fémur y tibia.^{66, 77, 79}

Resultan más variables los impulsos aplicados, así como los tiempos de tratamiento utilizados. La cantidad de impulso entregados van desde los 2000 hasta los 12,000 en periodos de tiempos desde los 15 min hasta los 60 min, por tratamiento. Cabe resaltar que en la mayoría de los casos se utilizaron de una a tres aplicaciones de ondas de choque para lograr obtener respuesta de los extremos óseos dañados.^{76-78, 80}

Contraindicaciones

A pesar de que el tratamiento mediante aplicación de ondas de choque es bastante seguro como efectivo, existen particularidades que no el paciente no debe presentar al momento de ser sometido al tratamiento, las más importantes se enlistan a continuación⁶⁶:

- Presencia de infección en los tejidos blandos adyacentes o en el tejido óseo a tratar.
- Trastornos de la coagulación o ingesta actual de medicación anticoagulante.
- Enfermedades primarias malignas.
- Embarazo.
- Presencia de marcapasos.
- Sobre tejido pulmonar, médula espinal o directamente sobre nervios principales.
- Inmadurez esquelética.
- Trombosis.
- Niños en edad de crecimiento sobre placas epifisarias.

Resultados

La aplicación de este agente físico resultó en porcentajes de consolidación bastante alentadores que generalmente oscilan entre el 70% al 90% (ver tabla 10), sin efectos colaterales ni complicaciones de importancia, en periodos de tiempo desde los 4 hasta los 12 meses con una cantidad reducida de aplicaciones.

Estos resultados son hasta ahora los más favorables en cuanto a efectividad y tiempo, sin dejar de lado la nula presencia de complicaciones y la seguridad que representa su aplicación como tratamiento no invasivo para los pacientes geriátricos, en ninguna intervención se encontraron reportes de efectos adversos importantes, más que la aparición de pequeñas Petequias o presencia de equimosis que no representaron problemas mayores y que en la mayoría de los casos se resolvieron espontáneamente en cuestión de días.^{72, 79-83}

Tabla 10: Artículos recopilados sobre Ondas de choque (ESWT)

Autor	Tipo de estudio	Año	Método empleado	Parámetros	Porcentajes de consolidación	Tiempo empleado
Alkhwashki, A. ⁷⁷	Estudio de serie de casos	2015	ESWT	Frecuencia: Huesos pequeños: 2000-3000 impulsos Fémur/Tibia/Peroné/Húmero : 3000-4000 impulsos Intensidad: 26 kV 15-20 min	75.5% (37/49)	10.2 meses
Álvarez, R. et. al ⁷⁶	Presentación de caso	2004	ESWT	Frecuencia: 3000 impulsos Intensidad: 26 kV 30-45 min.	100% (1/1)	4 meses
Álvarez, R. et. al ⁸¹	Estudio prospectivo multicéntrico	2011	ESWT	Frecuencia: 2000 impulso Flujo de energía: 0.22-0.51 mJ/mm ² 20 min.	90% (18/20)	12 meses
Babst, C. et. al. ⁸²	Reporte de casos y revisión de la literatura	2017	ESWT	No especifica	56.25% (9/16)	7 meses
Cacchio, A. et. al ⁸⁴	Ensayo prospectivo aleatorizado multicéntrico	2009	ESWT	Frecuencia: 4000 impulso Densidad: 0.40 mJ/mm ² /0.70 mJ/mm ²	70% (26/37) 71% (27/38)	6 meses
Ciampi, P. et. al ⁷⁸	Presentación de caso	2007	ESWT	Frecuencia: 2000 impulsos Densidad 0.86 mJ/mm ² 10-15 min	100% (1/1)	24 meses

Elster, E. et. al ⁸³	Análisis retrospectivo	2010	ESWT	Frecuencia: 12,000 impulsos Densidad: 0.38-0,40 mJ/mm ² 20-60 minutos	80.2% (138/172)	4.8 meses
Furia, et. al ⁸⁵	Estudio retrospectivo comparativo	2010	ESWT	Frecuencia: 2000-4000 impulsos Densidad: 0.35 mJ/mm ² 10-20 min	86.95% (20/23)	3 meses
Haffner, N. et. al ⁷⁹	Análisis multivariant e retrospectivo	2016	ESWT	Frecuencia: 3000-4000 impulsos Densidad: 0.4 mJ/mm ² 30 min	88.5% (46/52)	6 meses
Mittermayr, R. et. al. ⁸⁶	Ensayo clínico prospectivo	2012	ESWT	Frecuencia: 2000-4000 impulsos Densidad: 0.38 mJ/mm ²	80.97% (587/725)	6 meses
Notarnicola, A. et. al ⁸⁷	Estudio retrospectivo	2010	ESWT	Frecuencia: 4000 impulsos Densidad: 0.09 mJ/mm ²	79.3% (46/58)	6 meses
Rompe, J. et. al ⁸⁸	Estudio prospectivo de cohortes	2001	ESWT	Frecuencia: 3000 impulsos Densidad: 0.6 mJ/mm ² 50-75 min	72.1% (31/43)	4 meses
Schaden, W. et. al ⁸⁹	Estudio clínico prospectivo	2001	ESWT	Frecuencia Escafoides: 1000-2500 impulsos Densidad: 0.25-0.35 mJ/mm ² Frecuencia Tibia/Fémur: 12000 impulsos Densidad: 0.4 mJ/mm ² 20-60 min	76.3% (87/115)	3 meses

Vulpiani, M. et. al. ⁸⁰	Estudio clínico prospectivo	2012	ESWT	Frecuencia: 2500-3000 impulsos Densidad: 0.25-0.84 mJ/mm ²	55.9% (80/143)	7.6 meses
Wang, C. et. al ⁹⁰	Estudio clínico prospectivo	2001	ESWT	Frecuencia Fémur/Tibia: 6000 impulsos Densidad: 0.62 mJ/mm ² Húmero: 3000 impulsos Densidad: 0.56 mJ/mm ² Radio/Ulna: 2000 impulsos Densidad: 0.56 mJ/mm ² Metatarsos: 1000 impulsos Densidad: 0.47 mJ/mm ²	80% (44/55)	12 meses
Xu, Z. et. al ⁹¹	Estudio clínico prospectivo	2009	ESWT	Frecuencia Fémur/Tibia: 4000 impulsos Densidad: 0.56 mJ/mm ² Radio/Ulna: 3000 impulsos Densidad: 0.56 mJ/mm ²	75.8% (50/66)	6 meses

XII) DISCUSIÓN

Hasta comienzos del siglo XIX se tenía la concepción de que la pseudoartrosis era incurable, gracias a los aportes tanto en la literatura científica como en los avances tecnológicos se desarrollaron técnicas de tratamiento que en un principio resultaban ser muy invasivas, complejas, costosas y se prolongaba el tratamiento incluso durante años.⁴⁵ Con la reciente aparición, investigación y aprobación de métodos físicos como la terapia mediante ondas de choque, el ultrasonido de baja intensidad y la estimulación eléctrica, se amplió la gama de tratamiento de los trastornos de la consolidación.⁴¹

Aún con la aplicación de nuevas modalidades de tratamiento, la pseudoartrosis representa una de las complicaciones de la consolidación más difíciles de tratar ya que se ven involucrados bastantes factores que involucran tanto las características del mecanismo de lesión, de la evolución de la fractura y de aquellas propias del paciente y que en casos de falla puede llegar a resultar en la amputación del o de los miembros afectados causando un importante decremento en la funcionalidad y calidad de vida de la persona afectada.^{1, 41}

En la actualidad se reporta que, aproximadamente, un 5% a 10% de las fracturas desarrollaran alguna complicación durante su proceso de consolidación⁶, presentándose mayormente en individuos de edad productiva y debido a accidentes de alto impacto.⁴⁸ Sin embargo, con la creciente tendencia de aumento de la esperanza de vida y transición de la pirámide demográfica, se reportan cada vez más casos de pseudoartrosis en pacientes de mayor edad, suponiendo nuevos obstáculos para el tratamiento de estos a consecuencia de la presencia de ciertas características derivadas del proceso de envejecimiento.^{47, 49, 52}

El tratamiento, tanto de la pseudoartrosis como de otros trastornos de la consolidación como el retardo de la consolidación o las consolidaciones viciosas, se abordan principalmente de manera quirúrgica. El llamado “estándar de oro” es citado en una gran cantidad de artículos científicos^{11, 12, 59, 65, 73, 79, 80, 84, 92} y es utilizado como la intervención predilecta.

Esta intervención consiste en realizar un desbridamiento del tejido necrótico y no viable, la colocación de algún sistema de fijación, ya sea interno o externo, y complementar con el manejo biológico, donde se hace uso de aplicación de injertos óseos autólogos generalmente tomados de la cresta ilíaca ipsilateral, reportando porcentajes de consolidación que van, según Nolte⁷³ y Gebauer⁶⁹, del 68% al 96% de éxito. Haffner⁷⁹ y Vulpiani⁸⁰ reportan porcentajes de consolidación del 80% al 95% y Alkhawashki⁷⁷ del 86% al 94% de casos de consolidación exitosa.

Aunque la efectividad de esta modalidad de intervención se encuentra bien demostrada, cuenta con ciertas limitantes que no se pueden dejar de lado cuando se trata de encontrar opciones de intervención dirigidas a la población geriátrica. El tratamiento de la pseudoartrosis en los pacientes geriátricos suele ser en muchos casos subtratada¹, debido a los riesgos que implica someter a esta población en específico a una cirugía con las posibles complicaciones que esta implica, optando muchas de las veces por un tratamiento conservador consistente en inmovilización del miembro afectado, aunque los resultados sean poco prometedores y no compatibles con una de las piedras angulares de la geriatría que es el mantenimiento de la funcionalidad.^{35, 41}

Esta problemática es la que ha dado pie para la búsqueda de opciones terapéuticas menos invasivas y tornando a la intervención fisioterapéutica como una excelente opción para complementar el tratamiento ortopédico inicial.

En fisioterapia se han identificado distintas modalidades de tratamiento que pueden acoplarse a las necesidades de tratamiento específicas para esta población. Estas han sido estudiadas desde aproximadamente 30 años y en la actualidad cuentan con la aprobación necesaria para su aplicación en humanos.⁴⁸ Estas técnicas se componen principalmente de la intervención mediante agentes físicos, resaltando específicamente tres de éstos, el tratamiento mediante la aplicación estimulación eléctrica, la aplicación de ultrasonido terapéutico pulsado y la intervención mediante ondas de choque extracorpóreas.

En la literatura consultada se encontró que la estimulación eléctrica comúnmente usada para el tratamiento de la pseudoartrosis tiene dos variantes, una implica el uso de electrodos superficiales y en la otra modalidad los electrodos son implantados quirúrgicamente en los tejidos blandos adyacentes.^{61, 63}

Estudios de investigadores como Ohashi y Bighton argumentan que la estimulación eléctrica percutánea directa provee mejores resultados que los obtenidos con el uso de electrodos superficiales, sin embargo, los porcentajes de consolidación obtenidos por Calderón utilizando una corriente directa con aplicación transcutánea, así como el tiempo total de tratamiento no difieren demasiado de los reportados por los estudios realizados con electrodos colocados de manera invasiva y en estos se encuentra latente el riesgo de sufrir complicaciones como infecciones o daño de los tejidos blandos adyacentes.⁶¹

Los estudios que utilizan estimulación eléctrica son pocos en comparación con las demás modalidades de tratamiento muy probablemente debido a su complicada naturaleza y debido a la escasa disponibilidad de estos equipos.

El tratamiento con aplicación de ultrasonido terapéutico de baja intensidad (LIPUS) es uno de los más estudiados hasta la fecha para el tratamiento no invasivo de los trastornos de consolidación. Es posiblemente la intervención más accesible con la que se cuenta en fisioterapia para el tratamiento de pseudoartrosis ya que el equipo de ultrasonido es mucho más accesible y práctico de utilizarse, en comparación con el equipo usado en estimulación eléctrica o electromagnetismo. Las desventajas identificadas en el tratamiento con ultrasonido de baja intensidad comprenden el que los resultados pueden ser altamente influenciados por el consumo de fármacos como bloqueadores de canales de Calcio, AINES o algunos esteroides.^{35, 41}

Gebauer⁶⁹ menciona además que la intervención mediante ultrasonido terapéutico se ve interferida si el paciente tratado es además fumador o presenta insuficiencia vascular. Todas estas son características muy frecuentemente encontradas en la población geriátrica.

Roussignol⁷¹ menciona que el ultrasonido de baja intensidad puede disminuir los tiempos de consolidación hasta en un 30% a 40% cuando se aplica oportunamente, sin embargo, los índices de consolidación disminuirán mientras mayor tiempo haya transcurrido desde la lesión hasta el comienzo del tratamiento, viéndose disminuidas las probabilidades de consolidación exitosa en porcentajes que abarcan desde el 60% hasta el 88% pasando los 12 meses de evolución.

Así mismo, Roussignol⁷¹, Rutten⁷⁵ y Zura⁷² mencionan que los costos totales de un tratamiento con ultrasonido terapéutico llegan a representar ahorros de hasta \$15,000 dólares por persona ya que no se requiere de permanencia hospitalaria y el tratamiento se aplica directamente en los hogares de los pacientes. Una de las desventajas identificadas es que la totalidad de artículos recopilados cuya intervención consistía en la aplicación de ultrasonido terapéutico utilizan parámetros idénticos

preprogramados en el dispositivo portátil, por lo que no deja la oportunidad de realizar comparaciones entre tratamientos con distintos parámetros.

Las conclusiones de los estudios referentes a este agente físico recomiendan la aplicación de ultrasonido terapéutico como sustituto de la intervención quirúrgica en los casos en que existe una correcta alineación y separación aceptable entre segmentos óseos, como es el caso de lo argumentado por Gebauer⁶⁹, mientras que otros investigadores como Hemery⁶⁷, Roussinol⁷¹, recomiendan la necesidad de realizar mayor investigación al respecto mientras se aplica esta herramienta como coadyuvante en el tratamiento de la pseudoartrosis.

Tanto la aplicación de ultrasonido terapéutico como la intervención mediante ondas de choque se basan en brindar distintas densidades energéticas dirigidas a la zona en cuestión con la finalidad de desencadenar efectos biológicos deseados que promuevan la curación ósea.⁶⁴

La aplicación de ondas de choque es de los cuatro métodos identificados el más reciente. Aunque en sus orígenes no se contemplaba su uso en patologías óseas en la actualidad cuenta con numerosas aplicaciones que abarcan tanto el sistema musculoesquelético y articular, así como en lesiones dérmicas y otras aplicaciones en el área neurológica y cardíaca que se encuentran actualmente en evaluación.^{31, 66, 77}

Desde el comienzo de su aplicación en el tratamiento de patologías del sistema musculoesquelético se pensaba que el mecanismo de acción principal de las ondas de choque se debía a los efectos de reparación inducidos por las micro lesiones provocadas por estas⁶⁶, en la actualidad esta teoría va cayendo en desuso ya que aún no se identifican completamente los mecanismos de acción exactos.

Pareciera ser que esta teoría es reemplazada poco a poco por la teoría de la mecanotransducción, a partir de cual la energía mecánica aportada por la aplicación de estas ondas se transforma en señales bioquímicas que accionan mecanismos biológicos de reparación.⁸⁰

Realizando una comparación de tiempos de tratamiento, cantidad de sesiones y porcentajes de consolidación exitosos, el tratamiento mediante ondas de choque es posiblemente el que mejores resultados arroja, alcanzando porcentajes de consolidación similares a los obtenidos tras la intervención quirúrgica (72%-100%) en una cantidad bastante reducida de sesiones (una a cinco sesiones aproximadamente)^{77, 83, 84}, en muchos casos es necesaria solamente una aplicación de este tratamiento para desencadenar una respuesta ósea favorable, reduciendo a su vez los periodos de permanencia hospitalaria y los costos económicos.^{76, 79, 80, 82}

Se debe agregar que ninguno de los estudios recopilados reporta el surgimiento de efectos adversos o la generación de complicaciones serias, tornándolo en un método seguro, efectivo y libre de complicaciones. Por otra parte, las desventajas del método radican en la escasa cantidad de centros que ofrecen este tratamiento como opción a la cirugía además de que aún no se han establecido a qué parámetros se obtienen mejores resultados ya que los estudios recopilados varían sobre todo en la cantidad de impulsos aplicados abarcando un gran intervalo que va de los 2000 hasta los 12,000 impulsos por sesión.^{88, 89, 91}

Se ha enfatizado en que uno de los predisponentes de generar pseudoartrosis es la edad, debido al enlentecimiento del proceso de consolidación ósea, las posibles carencias nutricionales que pudieran presentar los adultos mayores o debido al considerable aumento del riesgo a sufrir una fractura y su consecuente fallo en la consolidación. Sin embargo, estudios realizados recientemente muestran que las causas directas de generar pseudoartrosis se encontraban más relacionadas a la

presencia de morbilidades, consumo de ciertos fármacos y antecedentes de toxicomanías que a la edad por sí misma.^{1, 41, 45}

Zura y colaboradores⁹³ identificaron en su estudio que en grupos poblacionales de 50 a 54 años existían porcentajes menores de curación tras haber sufrido una fractura en comparación con los adultos mayores de 60 años. Así mismo, describen que aquellos sujetos que generaron pseudoartrosis tenían en promedio 3.3 ± 2.4 comorbilidades, y aquellos sujetos que lograron una consolidación adecuada tenían en promedio 3 ± 2.2 morbilidades asociadas. Se argumenta que es posible la creación de sesgos ya que es más común realizar el seguimiento de un paciente joven y que difícilmente a un paciente mayor se le da un seguimiento adecuado.

Por otra parte, Taormina y colaboradores⁹⁴, realizaron en su estudio varias comparaciones entre los resultados arrojados en la población geriátrica y los pacientes jóvenes en variables de funcionalidad, fracaso y porcentajes de éxito. Reportan entre sus hallazgos porcentajes de consolidación del 95.8% para el grupo de pacientes geriátricos y de 95.11% en el grupo de pacientes jóvenes, porcentajes que no difieren estadísticamente entre grupos, además de que se reportó el fracaso total en un 1% de los sujetos en quienes se realizó la amputación del segmento afectado, cabe mencionar que en ningún sujeto mayor de 65 años se realizó la amputación.

Entre sus conclusiones reafirman que la edad no se encontró estadísticamente significativa como factor que afecte directamente el éxito de la consolidación y de sus variables cuantificadas la presencia de toxicomanías, como el consumo de tabaco, y el antecedente de cirugías previas fallidas influyen de manera más directa.

La única variable afectada significativamente por la edad fue el nivel de actividad física y argumentan que incluso después de un proceso de consolidación efectivo el nivel de actividad física se puede disminuir debido a otros factores y no estar necesariamente relacionado solamente al fracaso de la unión ósea.¹ Finalmente, sugieren que la edad por sí sola no es un factor que debiera ser considerado como contraindicación para el tratamiento de la pseudoartrosis.⁹⁴

Aunque se logró identificar opciones terapéuticas no invasivas en fisioterapia que pueden utilizarse en el paciente geriátrico con riesgos mínimos o nulos, existe muy poca literatura que esté dirigida específicamente a esta población, a pesar de que en todos los artículos recopilados se incluían sujetos mayores a 55 años ninguno de éstos dirigida específicamente su intervención a la población geriátrica.

La mayoría de estudios revisados aplica estas técnicas por igual en los distintos grupos poblacionales, es decir, los parámetros y precauciones referidas son las mismas para una persona de 18 años que para una de 80, dejando de lado en la mayoría de casos las consideraciones específicas que se debe tener con esta población como podrían ser la alteración de la sensibilidad, el uso de ciertos fármacos que pudieran entorpecer el proceso de consolidación, el enlentecimiento de las distintas fases de curación, los valores disminuidos de ciertos nutrientes y, más importante aún, las comorbilidades que pueda presentar el paciente geriátrico y que pudieran interferir en los resultados terapéuticos.^{1, 47, 48}

A pesar de la mención que realizan los autores sobre la importancia que tiene el movimiento controlado para la estimulación adecuada del callo de fractura^{41, 45}, en ninguno de los estudios recopilados se realiza una intervención de este tipo, implementando solamente la fijación del segmento afectado mediante el uso de yesos u órtesis.

XIII) CONCLUSIONES

La fisioterapia como disciplina científica y parte del equipo multidisciplinario de tratamiento del paciente geriátrico, cuenta con recursos de tratamiento poco o nada invasivos, ayudando a recuperar en mayor medida posible el nivel de funcionalidad, aumentando los niveles de independencia funcional del paciente, así como de calidad de vida y por consiguiente disminuyendo la discapacidad.

Dentro de las terapias menos invasivas para tratamiento de la pseudoartrosis se encuentra el uso terapéutico de agentes físicos, siendo la terapia mediante aplicación de ondas de choque radiales y focales, el ultrasonido terapéutico de baja intensidad, el electromagnetismo y el uso de corrientes eléctricas los más utilizados y aprobados. Sin embargo, estos métodos han sido aplicados en la gran mayoría de los casos por médicos ortopedistas sin mención o con muy poca participación de fisioterapeutas.

El tratamiento mediante agentes físicos es capaz de generar porcentajes de consolidación de pseudoartrosis de hasta el 100%, obteniendo resultados similares a los alcanzados mediante el tratamiento quirúrgico, con la ventaja de no ser un tratamiento demasiado invasivo, costoso y eliminando las posibles complicaciones que pudiesen repercutir negativamente en los pacientes geriátricos.

La mayoría de estudios y revisiones generalmente no incluyen en sus tratamientos adultos mayores, lo que hace suponer que la población geriátrica que llega a desarrollar cualquiera de los trastornos de consolidación son normalmente excluidos de los estudios, debido a las complicaciones que pueden presentar durante los procedimientos. La pseudoartrosis es un trastorno de la consolidación subtratado en la población geriátrica, comprometiendo de esta manera el nivel de independencia y funcionalidad del paciente. Escasea la literatura que incluya a los pacientes geriátricos en las medidas de tratamiento actuales, convirtiéndolos de cierta manera en un sector omitido.

La presencia de trastornos de la consolidación irá en aumento debido al actual proceso de transición de la población geriátrica, traduciéndose en importantes elevaciones de las cifras y porcentajes de presencia de fracturas y con ello, de pseudoartrosis. La intervención terapéutica será necesaria y jugará un papel importante para prevenir y disminuir el aumento en los índices de grado de dependencia funcional y discapacidad de los adultos mayores. El ejercicio terapéutico figura poco como tratamiento, esto puede ser debido a que es muy poca la cantidad de pacientes que reciben un seguimiento adecuado.

La literatura existente y estudios experimentales son escasos, por lo que puede convertirse en un amplio campo de investigación futura. Son pocas las intervenciones y estudios que tengan como población diana a los pacientes geriátricos, queda todavía la necesidad de realizar más estudios en la población geriátrica para que se obtengan resultados más conclusivos.

XIV) REFERENCIAS

1. Alkhawashki, H. (2015). Shock wave therapy of fracture nonunion. *Injury*, 246(11), 2248-2252.
2. Alvarez, R., Cincere, B., Channappa, C., Langerman, R., Schulte, R., Jaakkola, J., . . . Cross, L. (2011). Extracorporeal Shock Wave Treatment of Non- or Delayed Union of Proximal Metatarsal Fractures. *FOOT & ANKLE INTERNATIONAL*, 32(8), 746-754.
3. Álvarez, R., Rodríguez, M., García, E., Marrero, L., & Vega, A. (2004). Tratamiento de la pseudoartrosis de la tibia mediante ondas de choque por litotricia extracorpórea. *Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología*, 18(2). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-215X2004000200008&lng=es&tlng=es
4. Assiotis, A., Sachinis, N., & Chalidis, B. (2012). Pulsed electromagnetic fields for the treatment of tibial delayed unions and nonunions. A prospective clinical study and review of the literature. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 7(24), 1-6.
5. Atinga, A., Shekkeris, A., Fertleman, M., Batrick, N., Kashef, E., & Dick, E. (2017). Trauma in the elderly patient. *British Journal of Radiology*, 91(1087), 1-37. doi:10.1259/bjr.20170739
6. Babst, C., Brunner, A., & Babst, R. (2017). Isolated radial neck delayed union/nonunion after conservative treatment in adults: two case reports and a literature review. *Arch Orthop Trauma Surg*, 138(2), 179-188.
7. Brinker, M., & O'Connor, D. (2009). Nonunions: Evaluation and Treatment. En B. Browner, A. Levine, J. Jupiter, P. Trafton, & C. Krettek, *Skeletal Trauma* (4ta ed., págs. 1-94). Philadelphia: Elsevier.
8. Cacchio, A., Lucio, G., Colafarina, O., Rompe, J., Tavernese, E., Ioppolo, F., . . . Santilli, V. (2009). Extracorporeal Shock-Wave Therapy Compared with Surgery for Hypertrophic Long-Bone Nonunions. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 91(11), 2589-2597.
9. Calderón, J., Castillo, M., Pavón, D., Mireles, J., & González, R. (2001). Fracturas con retardo en la consolidación ósea o pseudoartrosis:tratamiento

no invasivo con electroestimulación galvánica transcutánea. *Rev Mex Ortop Traum*, 15(6), 262-265.

10. Cameron, M. (2014). *Agentes físicos en rehabilitación* (Cuarta ed.). Barcelona: Elsevier.
11. Cebrián, J., Gall, P., Francés, A., Sánchez, P., Manrique, E., Marco, F., & López, L. (2010). Comparative study of the use of electromagnetic fields in patients with pseudoarthrosis of tibia treated by intramedullary nailing. *International Orthopaedics*, 34(3), 437–440.
12. Chan, D., Jeffcoat, D., & Lorich, D. (2010). Nonunions around the knee joint. *International Orthopaedics (SICOT)*, 34(2), 271-281.
13. Ciampi, P., Scotti, C., Peretti, G., & Frascini, G. (2007). Extracorporeal shock wave treatment of humeral nonunion: a case report. *Sport Sciences for Health*, 2(1), 42–45.
14. Clegg, J. (1977). The results of the pseudarthrosis after removal of an infected total hip prosthesis. *The journal of bone and joint surgery*, 59-B(3), 298-301.
15. Crowley, D., Kanakaris, N., & Giannoudis, P. (2007). Femoral diaphyseal aseptic non-unions: Is there an ideal method of treatment? *Injury*, 38(2), S55-S63.
16. Degens, H. (2007). Age-related skeletal muscle dysfunction: causes and mechanisms. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 7(3), 246-252.
17. Dhanwal, D. K., Dennison, E. M., Harvey, N. C., & Cooper, C. (2011). Epidemiology of hip fracture: Worldwide geographic variation. *Indian Journal of Orthopaedics*, 45(1), 15-22. doi:10.4103/0019-5413.73656.
18. d'Hyver, C., & Gutiérrez Robledo, L. (2014). *Geriatría*. México: El Manual Moderno.
19. Donders, J., Lorich, D., Helfet, D., & Kloen, P. (2017). Surgical Technique: Treatment of Distal Humerus Nonunions. *HSSJ*, 13(3), 282-291.
20. Drake, R., Wayne, A., & Mitchell, A. (2015). Sistemas Corporales. En R. Drake, A. Wayne, & A. Mitchell, *Gray. Anatomía para estudiantes* (Tercera ed., Vol. 1, págs. 14-17). España: Elsevier.

21. Elster, E., Stojadinovic, A., Forsberg, J., Shawen, S., Andersen, R., & Schaden, W. (2010). Extracorporeal shock wave therapy for nonunion of the tibia. *J Orthop Trauma*, 24(3), 133-141.
22. Emara, K., Diab, R., & Khaled, A. (2015). Recent biological trends in management of fracture non-union. *World J Orthop*, 6(8), 623-628.
23. Enríquez, J., López, A., García, A., Cedillo, A., Guevara, G., & Correa, G. (2004). Pseudoartrosis metafisiaria proximal de tibia, tratada con doble placa, (presentación de 4 casos). *Acta Ortop Mex*, 18(5), 216-220.
24. Eriksen, E. (2010). Cellular mechanisms of bone remodeling. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*, 11(14), 219-227.
25. Ferreira, N., & Marais, L. (2015). Management of tibial non-unions according to a novel treatment algorithm. *Injury*, 46(12), 2422-2427.
26. Fukada, E. (2016). Piezoelectricity and Electrostimulation in Bone. En S. Tofail, & J. Bauer, *Electrically Active Materials for Medical Devices* (págs. 19-27). London: Imperial College Press.
27. Fukada, E., & Yasuda, I. (1957). On the Piezoelectric Effect of Bone. *Journal of the Physical Society of Japan*, 12(10), 1158-1162.
28. Fulle, S., Belia, S., & Di Tano, G. (2005). Sarcopenia is more than a muscular deficit. *Archives Italiennes de Biologie*, 143(3-4), 229-234.
29. Furia, J., Juliano, P., Wade, A., Schaden, W., & Mittermayr, R. (2010). Shock wave therapy compared with intramedullary screw fixation for nonunion of proximal fifth metatarsal metaphyseal-diaphyseal fractures. *THE JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY, INCORPORATED*, 92(4), 846-854.
30. Garbayo, A., Tejero, A., Repáraz, F., & Castaño, A. (2014). Tratamiento de la pseudoartrosis recalcitrante de húmero en pacientes de edad avanzada. *Anales Sis San Navarra*, 37(2), 257-264.
31. Gebauer, D., Mayr, E., Orthner, E., & Ryaby, J. (2005). Low-intensity pulsed ultrasound: effects on nonunions. *Ultrasound Med Biol*, 31(10), 1391-402.
32. Giannoudis, P., Einhorn, T., & Marsh, D. (2007). Fracture healing: the diamond concept. *Injury*, 38(S4), S3-S6.

33. Gómez, E., Rosset, P., Lozano, D., Stanovici, J., Ermthaller, C., & Gerbhard, F. (2015). Bone fracture healing: cell therapy in delayed unions and nonunions. *Bone*, *70*, 93-101.
34. Griffin, M., & Bayat, A. (2011). Electrical stimulation in bone healing: critical analysis by evaluating levels of evidence. *Eplasty*, *11*(e34), 303-353.
35. Gupta, A., Srivastava, K., & Avasthi, S. (2009). Pulsed electromagnetic stimulation in nonunion of tibial diaphyseal fractures. *Indian J Orthop*, *43*(2), 156–160.
36. Haffner, N., Antonic, V., Smolen, D., Slezak, P., Schaden, W., Mittermayr, R., & Stojadinovic, A. (2016). Extracorporeal shockwave therapy (ESWT) ameliorates healing of tibial fracture non-union unresponsive to conventional therapy. *Injury*, *47*(7), 1506-1513.
37. Hemery, X., Ohl, X., Saddiki, R., Barresi, L., & Dehoux, E. (2011). Low-intensity pulsed ultrasound for non-union treatment: A 14-case series evaluation. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, *97*(1), 51-57.
38. Hoppenfeld, S., & Murthy, V. L. (2004). *Fracturas: tratamiento y rehabilitación*. Madrid: Marbán.
39. Instituto Mexicano del Seguro Social. (2013). Manejo de los Síndromes Geriátricos Asociados a Complicaciones Postoperatorias. México.
40. Jacob, J., More, N., Kalia, K., & Kapusetti, G. (2018). Piezoelectric smart biomaterials for bone and cartilage tissue engineering. *Inflammation and Regeneration*, *38*(2), 1-11.
41. Johannes, E. J., Kaulesar, D. M., & Matura, E. (1994). High-energy shock waves for the treatment of nonunions: an experiment on dogs. *Journal of Surgical Research*, *57*(2), 246-252.
42. Joshy, S., Gopalan, S., & Deshmukh, S. (2007). Low-intensity pulsed ultrasound in the treatment of tibial non-union. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, *17*(4), 363–366.
43. Latarjet, M., Ruiz, A., & Pró, E. (2004). Generalidades concernientes al esqueleto, las articulaciones y los músculos. En M. Latarjet, A. Ruiz, & E. Pró, *Anatomía Humana* (Vol. 1, págs. 2-11). Buenos Aires: Panamericana.

44. Leighton, R., Watson, T., Giannoudis, P., Papakostidis, C., Harrison, A., & Steen, G. (2017). Healing of fracture nonunions treated with low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS): A systematic review and meta-analysis. *Injury*, *48*(7), 1339-1347.
45. López-Oliva, F., Madroñero, A., García de las Heras, B., Martín, E., & Forriol, F. (2006). Evaluación, con una nueva escala de severidad, de la eficacia del tratamiento de las pseudoartrosis mediante campos electromagnéticos pulsátiles. *Patología del Aparato Locomotor*, *4*(3), 179-186.
46. Loske, A. (2001). Applications of Shock Waves in Medicine. En G. Ben-Dor, O. Igra, & T. Elperin, *Handbook of Shock Waves* (Vol. 2, págs. 415–440). San Diego: Academic Press.
47. Lupean, A., Ciprian, M., & Baier, I. (2013). HIGH FREQUENCY PULSED ULTRASOUND THERAPY – AN ALTERNATIVE TREATMENT IN PSEUDARTHROSIS. *ACTA MEDICA TRANSILVANICA*, *2*(3), 330-332.
48. Lupean, A., Lupean, A., & Sopon, C. (2011). OPTIONS FOR STIMULATING FRACTURES HEALING. *AMT*, *2*(4), 316-318.
49. Martín Cordero, J. (2008). Terapia por ondas de choque. En J. Martín Cordero, *Agentes Físicos Terapéuticos* (págs. 246-253). La Habana: ECIMED.
50. Mayr, E., Frankel, V., & Rüter, A. (2000). Ultrasound – an alternative healing method for nonunions? *Arch Orthop Trauma Surg*, *120*(1-2), 1-8.
51. McCormack, D., Lane, H., & McElwain, J. (1996). The osteogenic potential of extracorporeal shock wave therapy. an in-vivo study. *Irish Journal of Medical Sciences*, *165*(1), 20-22.
52. Mills, L., & Simpson, A. (2013). The relative incidence of fracture non-union in the Scottish population (5.17 million): a 5-year epidemiological study. *BMJ Open*, *3*(2), 1-6.
53. Mittermayr, R., Pusch, M., Schwab, C., Fischer, A., & Schaden, W. (2011). Clinical efficacy of extracorporeal shockwave therapy (ESWT) for non-union fractures. *Revista Brasileira de Medicina*, *11*, 24-29.
54. Moore, K., Dailey, A., & Agur, A. (2013). *Moore KL. Anatomía con orientación clínica*. (7ª ed.). Barcelona, España: Wolkers Kluwer.

55. Mora, F., Antonio, C., Mejía, L., Hernández, S., Isunza, A., & Mota, E. (2012). Incidencia de pseudoartrosis en el Hospital Regional General Ignacio Zaragoza del ISSSTE. *Rev Esp Méd Quir*, 17(1), 34-38.
56. Nixon, J. (1985). Electromagnetic induction of bone? *BRITISH MEDICAL JOURNAL*, 290(16), 490-491.
57. Nolte, P., van der Krans, A., Patka, P., Janssen, I., Ryaby, J., & Albers, R. (2001). Low-Intensity Pulsed Ultrasound in the Treatment of Nonunions. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 51(4), 693-703.
58. Notarnicola, A., Moretti, L., Tafuri, S., Gigliotti, S., Russo, S., Musci, L., & Moretti, B. (2010). Extracorporeal shockwaves versus surgery in the treatment of pseudoarthrosis of the carpal scaphoid. *Ultrasound in Med. & Biol*, 36(8), 1306–1313.
59. Pancorbo, E., Delgado, A., Tirado, J., Hernández, J., Díaz, G., & Quesada, J. (2010). Tratamiento de la pseudoartrosis de los huesos largos mediante fijación externa. *Rev Cubana Ortop Traumatol*, 24(2), 44-56.
60. Paterson, D. C., & Simonis, R. B. (1985). Electrical stimulation in the treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia. *THE JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY*, 67(3), 454-462.
61. Pereira Lermontov, S., Andrade, M., Guitton Renaud Baptista Oliveira, B., Schott Gameiro, V., & Granjeiro, J. M. (2012). Cellular therapy in patients with pseudoarthrosis: analysis of costs and consequences. *Online Brazilian Journal of Nursing*, 11(1), 181-192.
62. Pesántez, R., Olarte, C., & Salavarieta, J. (2014). Evaluation and Treatment of Nonunions in the Osteoporotic Patient. *Current Geriatrics Reports*, 3, 128-134.
63. Pigozzi, F., Moneta, M., Giombini, A., Di Cesare, A., Fagnani, F., & Mariani, P. (2004). Low-intensity pulsed ultrasound in the conservative treatment of pseudoarthrosis. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 44(2), 173-178.
64. Pilla, A. A., Mont, M. A., Nasser, P. R., Khan, S. A., Figueiredo, M., Kaufman, J. J., & Siffert, R. S. (1990). Non-invasive low-intensity pulsed ultrasound accelerates bone healing in the rabbit. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 4(3), 246-253.

65. Pires e Albuquerque, R., Giordano, V., Pecegueiro do Amaral, N., Pires Carvalho, A. C., & Barretto, J. M. (2011). TOTAL KNEE ARTHROPLASTY IN A PATIENT WITH HOFFA FRACTURE PSEUDARTHROSIS: CASE REPORT. *Rev Bras Ortop*, 46(4), 460-463.
66. Pountos, I., Georgouli, T., Kontakis, G., & Giannoudis, P. V. (2010). Efficacy of minimally invasive techniques for enhancement of fracture healing: evidence today. *International Orthopaedics (SICOT)*, 34, 3-12.
67. Povlsen, S., & Povlsen, B. (2015). Low-intensity pulsed ultrasound treatment as an alternative to vascular bone graft surgery for a 5-year-long ulnar non-union in a patient with haemochromatosis. *BMJ Case reports*, 1-4. doi:10.1136/bcr-2015-211950
68. Pretell, J., Ruiz, C., & Rodríguez, J. (2009). Trastornos de la consolidación: Retardo y pseudoartrosis. *Rev Med Hered*, 20(1), 31-39.
69. Ramírez, J. E. (2013). Biophysical Stimulation for Bone Regeneration. *JSM Biotechnol Biomed Eng*, 1(2), 1014-1019.
70. Ribeiro Gonçalves de Oliveira, O., Pinheiro Rebouças Martins, S., Gomes de Lima, W., & Maia Gomes, M. (2017). The use of bone morphogenetic proteins (BMP) and pseudarthrosis, a literature review. *Revista Brasileira de Ortopedia*, 52(2), 124-140.
71. Romeo, P., Lavanga, V., & Sansone, V. (2013). Clinical Application of Extracorporeal Shock Wave Therapy in Musculoskeletal Disorders: A Review. *Altern Integ Med*, 2(2), 109-113.
72. Rompe, J., Rosendahl, T., Schöllner, C., & Theis, C. (2001). High-energy extracorporeal shock wave treatment of nonunions. *CLINICAL ORTHOPAEDICS AND RELATED RESEARCH*, 387, 102-111.
73. Roussignol, X., Currey, C., Duparc, F., & Dujardin, F. (2012). Indications and results for the Exogen™ ultrasound system in the management of non-union: A 59-case pilot study. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 98(2), 206-213.
74. Rouvière, H., Delmas, V., & Delmas, A. (2005). Aparatos de relación. En H. Rouvière, V. Delmas, & A. Delmas, *Anatomía Humana Descriptiva, Topográfica y Funcional* (Onceava ed., págs. 5-10). Barcelona: Elsevier Masson.

75. Rutten, S., Nolte, P., Guit, G., Bouman, D., & Albers, G. (2007). Use of low-intensity pulsed ultrasound for posttraumatic nonunions of the tibia: a review of patients treated in the Netherlands. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 62(4), 902-908.
76. Schaden, W., Fischer, A., & Sailler, A. (2001). Extracorporeal shock wave therapy of nonunion or delayed osseous union. *CLINICAL ORTHOPAEDICS AND RELATED RESEARCH*, 387, 90-94.
77. Schaden, W., Mittermayr, R., Haffner, N., Smolen, D., Gerdesmeyer, L., & Wang, C.-J. (2015). Extracorporeal shockwave therapy (ESWT)-First choice treatment of fracture non-unions? *International Journal of Surgery*, 24(Part B), 179-183.
78. Schmidmaier, G., Schwabe, P., Wildemann, B., & Hass, N. (2007). Use of bone morphogenetic proteins for treatment of non-unions and future perspectives. *Injury*, 38(Suppl 4), S35-S41.
79. Schröder, J., Saris, D., Besselaar, P. P., & Marti, R. K. (1998). Comparison of the results of the Girdlestone pseudarthrosis with reimplantation of a total hip replacement. *International Orthopaedics (SICOT)*, 22, 215-218.
80. Sociedad Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología. (2008). *Pseudoartrosis: curso básico Fundación SECOT*. Barcelona, España: Sociedad Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología, 2008.
81. Somfor, M., van den Bekerom, M., & Kloen, P. (2013). Operative treatment for femoral shaft nonunions, a systematic review of the literature. *Strat Traum Limb Recon*, 8(2), 77-88.
82. Sutcliffe, M. L., & Goldberg, A. A. (1982). The treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia with pulsing electromagnetic fields. A survey of 52 cases. *Clinical Orthopedics and Related Research*(166), 45-47.
83. Taormina, D., Shulman, B., Karia, R., Spitzer, A., Konda, S., & Egol, K. (2014). Older age does not affect healing time and functional outcomes after fracture nonunion surgery. *Geriatric Orthopaedic Surgery & Rehabilitation*, 5(3), 116-121.
84. Tomić, S., & Baljzović, A. (2017). Distal humerus nonunions after failed internal fixation: Treatment with Ilizarov external fixator. *Serbian Archives of Medicine*, 140-140. doi:<https://doi.org/10.2298/SARH170524140T>

85. Vulpiani, M., Vetrano, M., Conforti, F., Minutolo, L., Trischitta, D., Furia, J., & Ferretti, A. (2012). Effects of extracorporeal shock wave therapy on fracture nonunions. *The American Journal of Orthopedics*, 41(9), E122-E127.
86. Walsh, J. (2015). Normal bone physiology, remodelling and its hormonal regulation. *Surgery*, 33(1), 1-6.
87. Wang, C., Chen, H., Chen, C., & Yang, K. (2001). Treatment of Nonunions of Long Bone Fractures With Shock Waves. *CLINICAL ORTHOPAEDICS AND RELATED RESEARCH*, 387, 95-101.
88. Wang, S.-J., Lewallen, D., Bolander, M., Chao, E., Ilstrup, D., & Greenleaf, J. (1994). Low intensity ultrasound treatment increases strength in a rat femoral fracture model. *Journal of Orthopaedic Research*, 12(1), 40-47.
89. Watanabe, Y., & Matsushita, T. (2016). Femoral non-union with malalignment: reconstruction and biological stimulation with the chipping technique. *Injury*, 47(6), S47-S52.
90. Xu, Z.-H., Jiang, Q., Chen, D.-Y., Xiong, J., Shi, D.-Q., Yuan, T., & Zhu, X.-L. (2009). Extracorporeal shock wave treatment in nonunions of long bone fracture. *International Orthopaedics*, 33(3), 789-793.
91. Yupanqui, C. L. (2014). INFLAMACION: MEDIADORES QUIMICOS. *Revista de Actualización Clínica*, 43, 2266-2270.
92. Zhang, Q., Zhang, W., Zhang, Z., Tang, P., Zhang, L., & Chen, H. (2017). Accordion technique combined with minimally invasive percutaneous decortication for the treatment of bone non-union. *Injury*, 48(10), 2270-2275.
93. Zura, R., Braid-Forbes, M., Jeray, K., Mehta, S., Einhorn, T., Watson, J., . . . Steen, R. (2017). Bone fracture nonunion rate decreases with increasing age: A prospective inception cohort study. *Bone*, 95, 26-32.
94. Zura, R., Della Rocca, G., Mehta, S., Harrison, A., Brodie, C., Jones, J., & Steen, R. (2015). Treatment of chronic (>1 year) fracture nonunion: heal rate in a cohort of 767 patients treated with low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS). *Injury*, 46(10), 2036-2041.