



Artículo de revisión

Los efectos de un nuevo tipo de onda de choque (onda de choque diamagnética) en el tratamiento de la osteoartrosis del pulgar: una serie de casos

Estudio y una mirada sobre la mecanoterapia indolora

S. Visconti¹, F. Torres², G. Cuko³, F. Di Pardo⁴, R. Gosetti¹, F. Bonomi¹, P. Romeo^{5*}

¹Residencia de ancianos Villa Gemma, Gardone Riviera, Italia

²Organización Médica de Regeneración Celular, Bogotá, Colombia, EE. UU.

³Hospital Universitario Lozano-Blesa, Zaragoza, España

⁴Academia Periso Pazzallo (Suiza)

⁵Instituto Ortopédico Galeazzi, Milán, Italia

*Autor correspondiente: Pietro Romeo, Instituto Ortopédico Galeazzi, Milán, Italia

Citación: Visconti S, Torres F, Cuko G, Di Pardo F, Gosetti R, et al. (2021) Efectos de un nuevo tipo de onda de choque (onda de choque diamagnética) en el tratamiento de la osteoartrosis del pulgar: Estudio de una serie de casos y una perspectiva sobre una mecanoterapia indolora. J Orthop Res Ther 6: 1186. DOI: 10.29011/2575-8241.001186

Fecha de recepción: 22 de febrero de 2021; **Fecha de aceptación:** 26 de febrero de 2021; **Fecha de publicación:** 5 de marzo de 2021

Abstracto

En la práctica terapéutica, las ondas de choque extracorpóreas (ESW) son conocidas por sus efectos antiinflamatorios, antálgicos y regenerativos. Por esta razón, se aplican con éxito en la mayoría de los trastornos musculoesqueléticos, incluyendo la osteoartrosis (OA). Presentamos una serie de casos de 66 pacientes consecutivos con osteoartrosis del pulgar (T-OA) clasificada en el estadio radiológico II-III de Eaton y Litter y tratados con un nuevo tipo de dispositivo de ondas de choque extracorpóreas (CTU-S-Wave). La máquina genera ondas de choque mecánicas explotando el fenómeno repulsivo del diamagnetismo que se basa en los efectos que los campos electromagnéticos pulsados de alta intensidad y baja frecuencia (HI-LF-PEMF) ejercen sobre materiales diamagnéticos como el grafito, el bismuto y otros. A partir de este efecto repulsivo se origina la llamada onda de choque diamagnética. El resultado principal de nuestro estudio fue evaluar la efectividad de las ESW en el dolor antes y después del tratamiento. A continuación, evaluamos la incomodidad resultante en los pacientes, en términos de dolor percibido como consecuencia de la estimulación del hueso subcondral de la primera articulación carpometacarpiana, atribuible a la onda de choque mecánica. Todos los pacientes reportaron una buena adherencia al tratamiento, con una mejoría del dolor originado por la artrosis ($p < 0,001$), aunque no se reportó ninguna molestia. La onda de choque diamagnética demostró ser un tratamiento eficaz y completamente indoloro.

Palabras clave: Diamagnético; Ondas de choque extracorpóreas; Mecanoterapia; Osteoartrosis del pulgar

Introducción

La artrosis de mano (OA-T) es una afección debilitante multifactorial de la mano y representa la segunda localización más común de OA, prevaleciendo en mujeres posmenopáusicas [1]. El curso clínico se caracteriza por una pérdida progresiva de la función de agarre y afecta gradualmente el desempeño de la mano en las actividades cotidianas [2]. Además de factores genéticos, metabólicos, hormonales y biomecánicos, esta articulación multifuncional puede verse sujeta a las consecuencias del uso excesivo y las limitaciones funcionales, y en consecuencia a los cambios degenerativos que suelen ocurrir en la cápsula y los ligamentos osteocondrales y periarticulares. El término "OA-T" se refiere a la primera articulación carpometacarpiana (CMC-1), con o sin la articulación escafo-trapezial, y con menor frecuencia a esta última [3]. Además del dolor y la variabilidad del deterioro funcional,

La gravedad de la enfermedad se determina mediante los estadios radiográficos de Eaton y Litter. En cuanto al tratamiento, los procedimientos no quirúrgicos buscan ralentizar el daño anatomopatológico y retrasar las opciones quirúrgicas. Se han propuesto medicamentos, órtesis, inyecciones de esteroides u otras sustancias, y fisioterapias para este fin, pero ninguna ha demostrado ser superior a otras [4]. La cirugía, por sí sola, ofrece resultados diferentes y presenta ventajas y desventajas controvertidas, tanto en cuanto a la duración del efecto sobre el dolor como a la recuperación funcional [5].

La justificación del uso de ondas de choque extracorpóreas (ESW) en el hueso se basa en su aplicación sistemática y exitosa en casos de consolidación retardada y pseudoartrosis de fracturas [6] y, naturalmente, continúa con el tratamiento de enfermedades vasculares, metabólicas y degenerativas. Estudios fundamentales en animales de Wang et al. demostraron cómo el tratamiento del hueso subcondral (SB) logró mejorar la estructura de la unidad osteocondral (OU), junto con cambios positivos en los biomarcadores de OA y del metabolismo óseo [7,8]. Además,

Se han observado efectos positivos significativos sobre el dolor en la OA de la rodilla [9], así como en el edema de médula ósea subcondral (EMB) [10], una desregulación metabólica que ocurre en el SB y se asocia frecuentemente a la OA sintomática. El EMB se considera actualmente una posible causa del debilitamiento estructural y funcional del OU, lo que se refleja en alteraciones de la comunicación óseo-cartilaginosa fisiológica y, por esta razón, un factor predictivo de OA [11]. Los datos clínicos revelan la efectividad de las ESW también en la artrosis del pulgar [12] y, sobre esta base, diseñamos un estudio de serie de casos colectivos. Con esto, nos propusimos evaluar los efectos sobre el dolor, a corto plazo, de una tecnología novedosa. Esta tecnología suministra el pulso acústico explotando el impacto del HI-LF-PEMF con materiales diamagnéticos, obteniendo un efecto repulsivo capaz de generar la llamada "onda de choque diamagnética". Además, pretendemos evaluar si el impacto mecánico de alta velocidad inducido por el Campo Magnético de Alta Intensidad sobre la lente acústica podría ser causa de malestar para los pacientes tratados.

Métodos

De junio a diciembre de 2020, reclutamos a 66 pacientes (21 hombres y 45 mujeres), con una edad promedio de 63,28 años (44-86 para $\pm 10,32$ DE) con artrosis del pulgar en estadio II-III de la clasificación de Eaton y Litter. Recibieron tres sesiones de tratamiento con ESW, una por semana. El nivel de energía varió entre 0,09 y 0,11 mJ/mm². Densidad de Flujo de Energía (DFE) con 120 pulsos por sesión a 2 cm de profundidad del foco. Se evaluó el dolor de los pacientes antes del tratamiento e inmediatamente después de la tercera sesión de terapia de ondas de choque. Los tratamientos se realizaron en la Clínica Villa Gemma (Gardone Riviera, Italia) y en la Organización Médica de Regeneración Celular (Bogotá, Colombia). Los criterios de inclusión fueron: edad > 40 años, dolor en la primera articulación carpometacarpiana (CMC) de al menos 6 meses de evolución. El punto de corte para el dolor se estableció en 4 puntos en la escala visual analógica (EVA), mientras que el estadio radiológico de los pacientes incluidos debía estar de acuerdo con el estadio II-III de la clasificación de Eaton y Litter. No se admitió al tratamiento a pacientes con traumatismos previos, inyección de corticosteroides o ácido ialurónico administrados en los últimos tres meses. También se excluyó a los participantes que iban a recibir fisioterapia en el mismo intervalo de tiempo del estudio. Se tuvieron en cuenta las contraindicaciones habituales para el tratamiento con ESW: embarazo, tumores malignos en la zona diana (piel-hueso en este caso) y coagulopatía grave.

El dispositivo de ondas de choque (CTU-S Wave®- Periso SA - Suiza) se alimenta de una fuente de energía proporcionada por una bobina electromagnética que produce un campo electromagnético pulsado de alta intensidad (2 Tesla). El pulso electromagnético incide en un elemento discoide compuesto por una aleación de materiales diamagnéticos que, en consecuencia, se mueve hacia arriba y hacia abajo (Figura 1). Según

Debido a la propiedad de las sustancias diamagnéticas, al ser expuestas a valores elevados de campo magnético, estas experimentan un fuerte y rápido efecto repulsivo capaz de generar ondas de presión de alta energía (ondas de choque diamagnéticas). Debido a la necesidad de asegurar el tiempo de carga adecuado de la bobina electromagnética colocada en la pieza de mano, en este dispositivo la frecuencia de pulso es baja (16 Hz por minuto), pero esto ofrece, al mismo tiempo, niveles de energía constantes y estables. El disco diamagnético (lente diamagnética) está conformado por una serie de anillos de concentración según el principio óptico de Fresnel. Esto permite modificar una lente esférica en una lente plana sin cambiar sus propiedades ópticas (Figura 2). Una serie de lentes acústicas, con diferente número de anillos, proporciona una profundidad de enfoque de la onda de presión variable, de 2 a 6 cm. El protocolo del tratamiento incluyó la estimulación de las caras volar y dorsal de la articulación CMC-1, enfocando la energía acústica hacia el trapecio y la base del primer metacarpiano. Para cada punto, se administraron 30 disparos con un total de 120 pulsos a baja frecuencia (16 Hz/min) de estimulación. Como ya se explicó, esta alta latencia entre dos disparos consecutivos es necesaria para garantizar la carga óptima de la bobina electromagnética y niveles constantes de energía acústica durante toda la vida útil de la pieza de mano de la máquina. Para distribuir la energía perpendicularmente, proximal y distalmente a la articulación, la mano se colocó en posición neutra. Se utilizó un gel de ultrasonidos como medio conductor (Gel Complejo).®Periso SA -Suiza).

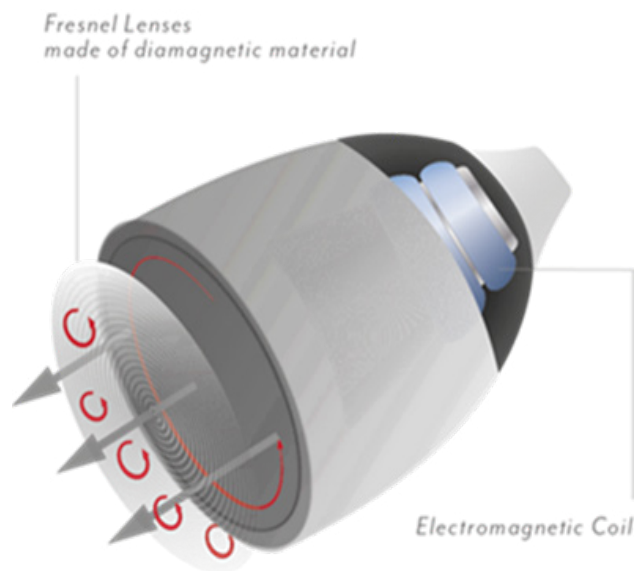


Figura 1: Pieza de mano del equipo CTU-S-Wave, que incluye la bobina electromagnética dentro de la sonda y la lente acústica. La onda de choque se origina por el movimiento a alta velocidad de la lente diamagnética.

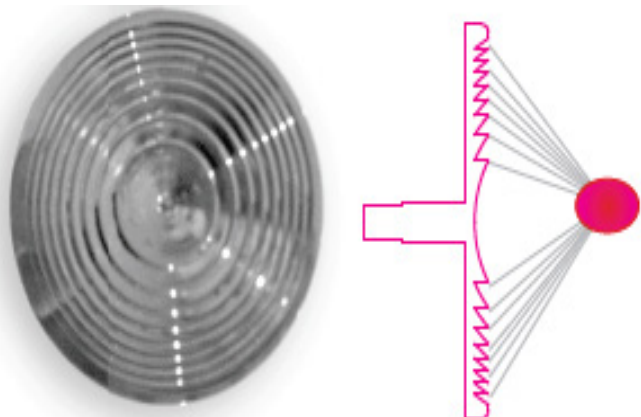


Figura 2:Lente diamagnética. La lente acústica de Fresnel es una lente cóncava obtenida por la descomposición de una convexa. Esto permite generar señales acústicas de alta resolución, enfocando la energía a una profundidad específica. Las lentes de Fresnel están formadas por un conjunto de anillos concéntricos de anchura decreciente: cada anillo se denomina "región de Fresnel" y entre dos regiones consecutivas hay una diferencia de fase. La principal contribución energética al enfoque proviene de las regiones centrales de la lente.

El análisis estadístico del resultado del tratamiento incluyó la suma de las puntuaciones atribuidas a todos los pacientes en la evaluación de

Dolor en la Escala Visual Analógica (EVA) medido antes del tratamiento (T0) y al final del tercer tratamiento (T1). Los datos recopilados se analizaron como valores de diferencia de medias $\pm$ desviación estándar (DE) para variables numéricas discretas. Se seleccionó la prueba de distribución normal de los datos para determinar la significancia estadística entre el pretratamiento y el postratamiento, y se estratificó por sexo y edad (en este caso, menores y mayores de 60 años). El nivel de significancia se estableció en $p < 0,05$.

Resultados

Todos los pacientes tratados mostraron una disminución significativa del dolor a lo largo del período de observación, en comparación con el valor inicial. La evaluación del dolor mostró una mejoría estadísticamente significativa en el dolor antes y después del tratamiento, sin diferencias sustanciales para el sexo y la edad. La EVA varió de 6,3 antes del tratamiento a 3,27 puntos al final de los tratamientos como valor medio ($DE \pm 1,90$ - $P < 0,001$) (Figuras 3,4). El análisis estratificado por edad mostró los siguientes valores medios de variación de la EVA: 6,51 puntos antes del tratamiento a 2,93 puntos para 29 muestras menores de 60 años ($DE \pm 1,91$ - $P < 0,001$) respecto a la variación de 6,62 a 3,5 puntos para 37 muestras mayores de 60 años ($DE \pm 1,91$ - $P < 0,001$). La variación media de los valores de dolor estratificados por sexo mostró, respectivamente, de 6,33 a 3,33 puntos antes y después del tratamiento para los hombres ($DE \pm 2,42$ - $P < 0,001$) y de 6,8 a 3,2 puntos para las mujeres ($DE \pm 1,63$ - $P < 0,001$). Todos los pacientes tratados completaron el tratamiento y no se reportó dolor, molestias ni efectos adversos a pesar del impacto mecánico de la lente acústica.

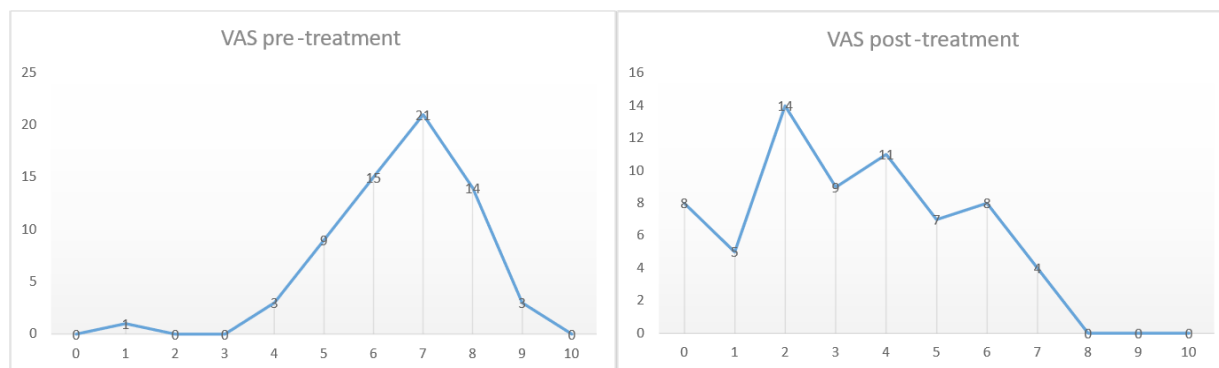


Figura 3:Los gráficos muestran la representación de las frecuencias absolutas (FA) según la puntuación EVA antes y después del tratamiento con ondas de choque diamagnéticas (Abscisas: puntuación EVA. Ordenadas: número de pacientes por puntuación EVA). Las FA antes del tratamiento muestran una línea sesgada a la derecha: las puntuaciones altas de la EVA se reportan con mayor frecuencia, con 7 como moda y mediana, y 7,75-6 como rango intercuartílico (arriba). En el gráfico de las FA después del tratamiento (abajo), la línea está más sesgada a la izquierda; los valores más bajos se reportan con 2 como moda, 3 como mediana y 5-2 como rango intercuartílico.

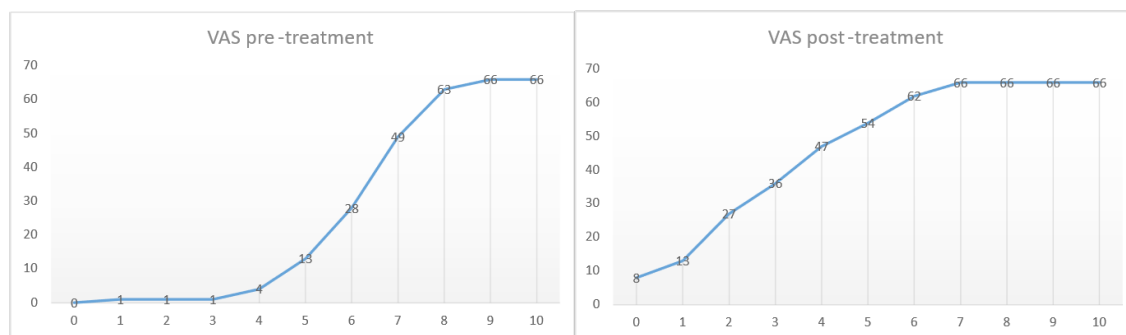


Figura 4:Representación gráfica de las frecuencias acumuladas (FC) de la puntuación EVA absoluta antes y después del tratamiento, según las puntuaciones EVA (Abscisa: puntuación EVA. Ordenada: frecuencias acumuladas absolutas). Puntuación EVA previa al tratamiento: las puntuaciones más altas se reportan con mayor frecuencia, con 7 como moda y mediana, y 7,75-6 como rango intercuartílico (superior). El gráfico de la FC posterior al tratamiento muestra que los valores más bajos se reportan con mayor frecuencia, con 2 como moda, 3 como mediana y 5-2 como rango intercuartílico.

Discusión

Los conceptos actuales sobre la patogénesis de la OA enfatizan la complejidad y la naturaleza multifactorial de la enfermedad, incluyendo cambios estructurales en toda la articulación que originan una pérdida progresiva de la función [13]. La afectación del pulgar es significativamente mayor en mujeres (el doble que en hombres), principalmente en la posmenopausia, donde se ha observado evidencia radiográfica de OA-T en el 36 % de las mujeres [14].

El enfoque de primera línea para la artrosis de tiroides (T-OA) es el tratamiento conservador. Sin embargo, los fármacos sintomáticos o modificadores de la enfermedad, las ortesis, las inyecciones articulares y las terapias físicas, dirigidos a ralentizar la progresión de la enfermedad, aún no han demostrado ser superiores entre sí. En un metaanálisis reciente, Aherna et al. concluyen que existe evidencia de alta calidad de que el tratamiento de fisioterapia unimodal o multimodal puede resultar en mejoras clínicamente valiosas en el dolor y la función en pacientes con T-OA (p. ej., tratamientos neurodinámicos, uso de ortesis, ultrasonidos, ejercicios pasivos y terapia ocupacional) [4]. No obstante, los tratamientos no farmacológicos previos y la fuerte motivación de los pacientes se han considerado predictores de la cirugía, que, por sí sola, aún no ofrecería técnicas estandarizadas superiores a otras en términos de duración de los efectos sobre el dolor y la recuperación funcional, beneficios o perjuicios. Además, la comparación con los tratamientos no quirúrgicos es controvertida [5,15].

En las últimas décadas, la estimulación biofísica del tejido musculoesquelético dañado que proporcionan las ondas de choque extracelulares (ESW) se ha extendido por todo el mundo gracias a una gran variedad de actividades biológicas. Estas incluyen la neoangiogénesis, la producción de factores de crecimiento, la estimulación de células diferenciadas para producir matriz extracelular (MEC), así como efectos regenerativos directos mediados por la activación, la localización y la diferenciación de células madre mesenquimales [16]. Además, mecanismos más sofisticados abren nuevos horizontes en la comprensión del mecanismo de acción de las ESW, por ejemplo, la liberación de exosomas y el cambio regulatorio de los macrófagos al conectar la inflamación con la regeneración tisular [17-19]. La justificación para el tratamiento de la artrosis con ESW comienza

A partir de una serie de estudios en animales, se demuestra la eficacia de la estimulación del hueso subcondral en la etapa temprana de la enfermedad. Se ha observado una mejor puntuación cartilaginosa y efectos adicionales en las propiedades mecánicas del hueso, junto con una mayor expresión de biomarcadores anabólicos (osteocalcina, proteínas morfogenéticas óseas) y una menor expresión de biomarcadores catabólicos (proteína oligomérica del cartílago, metaloproteasas de la matriz, telopeptido II del colágeno) como resultado del tratamiento con ESW [8].

Además de los mecanismos típicos de inflamación, la causa del dolor (dolor crónico) en la OA también se ha atribuido a la desregulación de los neuropéptidos (NP) como la sustancia P y el péptido relacionado con el gen de la calcitonina (CGRP). Su expresión se ha observado tanto en las terminaciones nerviosas de las articulaciones osteoartíticas como en las raíces posteriores del segmento medular correspondiente mediante vías ortodrómicas y antidrómicas de transmisión de los estímulos dolorosos [20]. En un modelo experimental de OA de rodilla, el tratamiento con ESW demostró mejorar el tiempo de duración de la marcha que coincidió con la reducción de las neuronas positivas para CGRP [21]. Dado que los neuropéptidos han demostrado reducir el umbral de los nociceptores en las articulaciones osteoartíticas [22], podemos considerar mejor el posible papel de las ESW en el tratamiento del dolor articular crónico, al modular la producción de NP. Las ESW se clasifican como mecanoterapia que actúa por el mecanismo de mecanotransducción [23]. Este fenómeno se refiere a la traducción de un estímulo mecánico en señales biológicas, gracias a la activación de mecanosensores y vías de mecanoseñalización intracelular. Esto ocurre, además de con las ondas electromagnéticas (ESW), también con otras formas de mecanoterapia que involucran microdeformación, expansión tisular y osteogénesis por distracción [24]. Un rol fundamental en estos procesos bien orquestados lo desempeña la matriz extracelular (ECM) y su capacidad para interactuar con las células. Por su naturaleza y estructura, el hueso puede reaccionar fácilmente bajo estímulos mecánicos deformándose o causando tensiones locales (microtensiones). En el hueso, los gradientes de presión fluyen a través de la estructura trabecular ósea estirando los osteocitos y moviendo los fluidos extracelulares. En conjunto, las tensiones y el flujo de fluidos inducen, respectivamente, el efecto piezoeléctrico y la creación de potenciales eléctricos de flujo continuo, que, como se observa en cultivos celulares, juegan un rol clave en la mecanotransducción [25].

La liberación de energía acústica de la máquina de ondas de choque empleada en este estudio es bastante peculiar. La alta energía (2T) generada por la bobina electromagnética se descarga en la lente diamagnética acústica situada fuera de la pieza de mano. Esto provoca un movimiento repulsivo alterno de alta velocidad y alta energía en la lente, lo que genera, a su vez, una onda acústica enfocada de alta presión. El término "diamagnético" se refiere a la peculiar propiedad magnética de la materia que, a diferencia del ferromagnetismo, experimenta un efecto repulsivo en presencia de un PEMF de alta y baja frecuencia (HI-LF-PEMF).

La señal acústica producida por la máquina a 2 cm de área focal (2,14 cm²) proporciona un valor máximo (presión de pico) de 42 MPa, con una caída a -6 dB, medida en 21 MPa. La presión negativa varía de -6,87 MPa a -1,7 MPa [datos proporcionados por el fabricante de la máquina, CTU-S-Wave].®- Periso SA - Suiza]. La frecuencia de pulso es baja (16 Hz por minuto) para garantizar el tiempo de carga adecuado de la bobina electromagnética durante el tratamiento. Esto tiene como objetivo proporcionar una intensidad alta y constante del campo magnético y, en consecuencia, la energía cinética necesaria para mover la lente y producir la onda de choque diamagnética. Además de la energía liberada en el área focal, se genera un frente suplementario de energía mecánica proveniente del impacto de la lente discoide (6 cm de diámetro) con el cuerpo. Esto genera ondas transversales de cizallamiento (deformaciones de cizallamiento) formadas en el componente elástico de los tejidos atravesados por la onda acústica, lo que conlleva posibles efectos biológicos derivados de la transducción de este tipo de señal mecánica [26]. En detalle, el movimiento de la lente acústica plana de la máquina distribuye, además de la sección del eje longitudinal de la onda de choque enfocada, ondas transversales con dirección normal al eje longitudinal. Dado el radio de la lente acústica (3 cm) y la distancia focal (2 cm), se obtiene un volumen cilíndrico teórico de energía (56,6 cm³) que rodea el área focal es concebible, aunque se atenúa con la distancia. Esto implica la posibilidad de una energía adicional disponible para la mecanotransducción de la señal acústica, además de la resultante de la energía focal producida por la lente acústica. Una medición adecuada debería investigar mejor las características de las ondas transversales producidas por la máquina.

Uno de los temas más interesantes de la física acústica reside en la posibilidad de concentrar, a partir del principio óptico de Fresnel, señales acústicas de alta resolución mediante lentes planares monofocales convergentes formadas por anillos concéntricos de anchura decreciente, conocidas como Placas de Zona de Fresnel (FZP) [27]. Estas lentes acústicas enfocan el sonido de la misma manera que las lentes ópticas enfocan la luz; esto se debe a que la teoría subyacente es aplicable tanto a ondas mecánicas como electromagnéticas. Por ejemplo, uno de los usos de estas lentes acústicas en el campo médico es la ablación de tumores mediante terapias de Ultrasonido Focalizado de Alta Intensidad (HIFU) [28]. La lente acústica de enfoque suministrada por la máquina sigue el diseño, los parámetros, la geometría y la eficiencia requeridos para la placa FZP (Figura 2), modificando únicamente la composición estructural y original por una aleación diamagnética. Un número creciente de estudios clínicos demuestra la eficacia de las ESW en la artrosis, principalmente en la rodilla. La justificación biológica se basa en estudios in vitro e in vivo. Los resultados en

Las células cartilaginosas son controvertidas. Moretti et al. observaron la normalización, a niveles intracelulares, de la expresión de TNF-alfa e IL-10 en condrocitos articulares humanos de pacientes con osteoartritis [29]. Por otro lado, se han observado efectos perjudiciales con altas energías (0,5 mJ/mm²), inusuales en la práctica clínica, como daños ultraestructurales del retículo endoplasmático de superficie rugosa, desprendimiento de la membrana celular y necrosis de condrocitos en muestras animales [30]. Más importante parece ser el papel del SB, no solo en la patogénesis, sino también en el tratamiento de la OA. Wang y col. han reportado resultados más satisfactorios en estudios con animales. Los autores mostraron una mejora significativa de la puntuación del cartílago, un aumento de la concentración de condrocitos y colágeno sérico tipo II, mejor estructura ósea subcondral, producción de marcadores neoangiogénicos y factores de crecimiento óseo específicos, y proliferación celular [7,8].

Ensayos clínicos reportan la eficacia de las ondas de choque ESW, tanto radiales como focalizadas, para reducir el dolor y mejorar la funcionalidad de las articulaciones degeneradas, según puntuaciones específicas [31]. También se describen resultados favorables en comparación con otras terapias, como ejercicios isocinéticos y terapia de ultrasonido [32], mientras que se han reportado efectos equivalentes entre los tratamientos con ondas de choque radiales y las inyecciones intraarticulares de ácido hialurónico, así como mejores resultados subjetivos y funcionales en comparación con la terapia láser [33,34]. La indicación para el tratamiento con ondas de choque generalmente incluye las pruebas radiológicas de Kallgren y Lawrence en estadio II-III. Sin embargo, al igual que en la mayoría de las aplicaciones clínicas de las ondas de choque ESW, la extrema variabilidad de protocolos, intensidad, frecuencia y todos los parámetros individuales de los equipos disponibles en el mercado no permiten definir procedimientos de tratamiento homogéneos. Para las ondas de presión radiales, se recomienda una intensidad moderada de EFD en el manejo clínico de la artrosis de rodilla (0,12 a 0,25 mJ/mm²) y el número de choque podría aplicarse con 2000 o 4000 impulsos con resultados similares [35]. De manera similar, para las ondas de choque focalizadas, la dosis media (EFD 0,09 mJ/mm²) sería más eficaz que una dosis más baja (0,04 mJ/mm²) a las 12 semanas posteriores al tratamiento, según lo informado para la escala visual analógica (EVA), la puntuación de Roles y Maudsley, la puntuación WOMAC y el índice de Lequesne con 1000 inyecciones por tratamiento [36]. Resulta igualmente interesante el resultado subjetivo y funcional en pacientes con artrosis de rodilla leve (estadio KL 1) en una serie de pacientes que habían sufrido un ictus, tratados con 1000 pulsos semanales durante 3 semanas con una dosis de energía de 0,05 mJ/mm² en la tibia medial proximal de la rodilla afectada [37].

Por lo tanto, el tratamiento del SB parece ser clave en el tratamiento de la OA, considerando también su papel patogénico como sitio de trastorno metabólico [10] y uno de los focos de dolor que activan la inflamación neurogénica en las articulaciones [21,38]. Esto sucede porque las fibras nerviosas sensoriales y simpáticas y sus neurotransmisores son efectores neuronales capaces de regular la fisiopatología del cartílago y el hueso, y las células residentes del sistema osteoarticular, que tienen receptores para neurotransmisores simpáticos y sensoriales [39]. En conjunto, estas premisas llevan a explorar el tratamiento con ESW en otras localizaciones de la enfermedad, como la articulación CMC-1. En un RCT sobre ESW versus ácido hialurónico, se ha reportado, en dos series de pacientes con OA de la articulación CMC-1, una reducción significativa del dolor, una

mejora en el rendimiento de la prueba de pellizco y disminución de la discapacidad de la mano durante al menos 6 meses después del tratamiento (2400 pulsos - 4 Hz de frecuencia - 0,09 mJ/mm² de EFD). En comparación con los pacientes tratados con ácido hialurónico intraarticular, la reducción del dolor fue probablemente superior en el grupo de ondas de choque electroquirúrgicas (ESW); el aspecto funcional se mantuvo igual a los 6 meses después del tratamiento [12]. Nuestra experiencia no es comparable con la mencionada anteriormente. No se trata de un estudio controlado y, a pesar del considerable número de pacientes, se trata de una única cohorte de pacientes consecutivos, siendo el dolor postratamiento el único resultado. No obstante, este estudio tuvo como objetivo explorar el efecto principal sobre el dolor de una máquina original que administra ondas de choque mecánicas focalizadas (ondas de choque diamagnéticas) y, según nuestro conocimiento, este es el primer estudio clínico con este dispositivo. Una particularidad de este estudio es el uso de los mismos niveles de EFD empleados en otros estudios sobre artrosis, pero, en contraste, con un número muy limitado de disparos (no más de 120 pulsos por tratamiento) necesarios para lograr un resultado beneficioso sobre el dolor, como lo demuestra la comparación pre y postratamiento ($p < 0,001$). El comportamiento de los valores medios de la EVA fue estadísticamente independiente de la edad y el sexo.

En este tipo de máquina, además del componente longitudinal de la onda enfocada, se puede atribuir un componente transversal de la energía al movimiento mecánico de la lente, que proporciona un volumen suplementario de energía, según la física de la deformación cortante de baja frecuencia. En estos modelos, los bioefectos obtenidos por mecanotransducción están más relacionados con los cambios mecánicos resultantes (deformaciones) en el tejido que con las fuerzas que causan dichos cambios (cantidad de energía externa) [26]. En este dispositivo, el volumen de disipación de energía descrito anteriormente produciría estas pequeñas fuerzas transversales (deformación cortante) para obtener efectos biológicos, además de los derivados de la energía acústica enfocada. En resumen, la sintonización bimodal de la energía acústica proporcionada por la máquina CTU-S-Wave implica cambios en la EFD, como ocurre en todas las máquinas SW, mientras que la intensidad del campo magnético que impacta la lente diamagnética origina un volumen de disipación de energía que rodea el área focal, donde prevalece un componente transversal. La lente acústica es una lente de Fresnel, una lente cóncava obtenida por la descomposición de una convexa. Originalmente fue concebida para enfocar ondas electromagnéticas, y posteriormente se extendió a las ondas acústicas. Es eficaz para enfocar la energía acústica en un área específica a una profundidad específica, satisfaciendo las diversas necesidades de tratamiento en curso de los trastornos musculoesqueléticos. Las lentes de Fresnel están formadas por un conjunto de anillos concéntricos con ancho decreciente: cada anillo se denomina "región de Fresnel" y entre dos regiones consecutivas existe una diferencia de fase π [27]. La principal contribución energética al enfoque proviene de las regiones centrales de la lente, y el diferente número de anillos proporciona enfoque a diferentes profundidades. Podemos obtener una mejor eficiencia de enfoque según el material que constituye la lente, que minimiza el coeficiente de reflexión y tiene un gran desajuste de impedancia con el medio anfitrión (aleación diamagnética).

El efecto diamagnético se origina a partir de la fuerza magnética y el par magnético que se derivan, por sí solos, de una energía magnética bien definida en el nivel ultraestructural de la materia diamagnética [40,41]. Esto significa que las altas intensidades del campo magnético

El campo magnético es necesario para que la fuerza diamagnética opuesta ascendente pueda mover la lente diamagnética, produciendo la onda de choque mecánicamente. El impacto mecánico podría activar canales iónicos mecanosensibles en nervios aferentes mecanosensibles y causar molestias o dolor en los pacientes. Sin embargo, dado que el aumento del tamaño de la fuente de estimulación reduciría las tensiones de cizallamiento cerca de la fuente para una amplitud dada, en esta máquina, el área mayor de la lente acústica (36 cm²) evita molestias a los pacientes durante el tratamiento con ondas de choque, de acuerdo con la mecano-reactividad de la gran parte de las células del cuerpo humano a los estímulos mecánicos externos [42].

Trasladando estos conceptos a las características de la máquina, se pueden hacer algunas consideraciones concluyentes:

- La forma de la lente acústica permite enfocar la energía acústica en diferentes niveles de energía;
- Aunque está sometida a un elevado esfuerzo mecánico, necesario para producir la onda de choque, la mayor superficie de la lente (36 cm²) reduciría las tensiones de corte cerca de la fuente y evitaría la sobreestimulación de las terminaciones nerviosas cutáneas;
- Además de la onda de choque enfocada, el movimiento de la lente produce un volumen (56,6 cm³) de energía atenuante suplementaria con potenciales efectos biológicos, dada por ondas transversales lentas que generan una tensión cortante fisiológica.

Estos conceptos deberían explicar parcialmente la ausencia de dolor y molestias reportadas por los pacientes durante los tratamientos. Además, un cierto número de ellos no percibió el impacto de la lente acústica en la piel, a pesar del impulso mecánico. Esta hipótesis requeriría estudios adicionales y específicos.

Conclusión

Recopilamos una serie de datos relativos al tratamiento de la artrosis de transición con un dispositivo original de ondas de choque extracorpóreas (CTU-S-Wave). Observamos una mejora significativa del dolor antes y después del tratamiento, independientemente de la edad y el sexo de los pacientes. A pesar del movimiento de alta energía de la lente, los pacientes no informaron efectos secundarios, como dolor o molestias, ni en la percepción del pulso mecánico.

Agradecimientos: Dr. S. Pisani para el apoyo epidemiológico y estadístico.

Referencias

1. Brent BP Kyle, R. Eberlin (2019) Artritis de la articulación basal del pulgar. Clin Plastic Surg 46: 407-413.
2. Zhang Y, Niu J, Kelly-Hayes M, Chaisson CE, Aliabadi P, et al. (2002) Prevalencia de la osteoartritis sintomática de la mano y su impacto en el estado funcional en personas mayores: el Estudio Framingham. Am J Epidemiol 156: 1021e7.
3. M. Kloppenburg, S. van Beest, Feline, PB Kroon (2017) Artrosis de la base del pulgar: Un subtipo de artrosis de la mano que requiere un abordaje específico. Mejores Prácticas e Investigación en Reumatología Clínica 31: 649-660.

4. M. Aherna, J. Skyllasb, A. Wajonc, J. Husha (2018) Eficacia de las fisioterapias para pacientes con osteoartritis de la base del pulgar: Revisión sistemática y metanálisis. *Musculoskeletal Science and Practice* 35: 46-54.
5. Wajon A, Vinycomb T, Carr E, Edmunds I, Ada L (2015) Cirugía para la osteoartritis del pulgar (articulación trapecio-metacarpiana). *Base de Datos Cochrane de Revisiones Sistemáticas*, 2015.
6. P. Romeo et al., V. Lavanga, D. Pagani, V. (2014) Terapia de ondas de choque extracorpóreas Sansone en trastornos musculoesqueléticos: Una revisión. *Med Princ Pract* 23: 7-13.
7. CJ Wang, Yi-c. Sun, Ka-Kit Siu, Cheng-Ta Wu (2013) La terapia de ondas de choque extracorpóreas muestra efectos localizados en la osteoartritis de rodilla en ratas. *Journal of Surgery Research* 183: 612-619.
8. CJ Wang¹, Jai-H. Cheng¹, Chien-Yiu Huang, SL Hsu, FY Lee, et al. (2017) El hueso subcondral tibial medial es el objetivo clave de la terapia de ondas de choque extracorpóreas en la osteoartritis temprana de rodilla. *Am. J. Transl. Res* 9: 1720-1731.
9. Zhao Z, Jing R, Shi Z, Zhao B, Ai Q, et al. (2013) Eficacia de la terapia de ondas de choque extracorpóreas para la osteoartritis de rodilla: un ensayo controlado aleatorizado. *J Surg. Res* 185: 661-666.
- 10.V. Sansone, E. Maiorano, V. Pascale, P. Romeo (2019) Lesiones de médula ósea de rodilla: correlación longitudinal entre los cambios en el tamaño de la lesión y el dolor antes y después del tratamiento conservador con terapia de ondas de choque extracorpóreas. *Revista Europea de Medicina Física y de Rehabilitación* 55: 225-230.
- 11.T. Alliston, CJ Hernandez, DM Findlay, DT Felson, OD Kennedy (2018) Lesiones de médula ósea en la osteoartritis: qué hay detrás. *Journal of Orthopaedic* 36: 1818-1825.
- 12.F. Ioppolo, F. Saracino, RS Rizzo, G. Monacelli, D. Lanni, et al. (2018) Comparación entre la terapia de ondas de choque extracorpóreas y las inyecciones intraarticulares de ácido hialurónico en el tratamiento de la osteoartritis de la primera articulación carpometacarpiana *Med* 42: 92-100.
- 13.RF Loeser, SR Goldring, CR Scanzello, MB Goldring MB (2012) Osteoarthritis: una enfermedad de la articulación como órgano. *Arthritis Rheum* 64: 1697-1697.
- 14.Sonne-Holm S, Jacobsen S (2006) Osteoarthritis de la primera articulación carpometacarpiana: un estudio de radiología y epidemiología clínica. Resultados del Estudio de Osteoarthritis de Copenhagen. *Osteoarthritis Cartilage* 14: 496-500.
- 15.Gravås EMH, Østerås N, Nossun R, et al. (2019) ¿Retrasa o reduce la terapia ocupacional la proporción de pacientes sometidos a cirugía de la articulación carpometacarpiana del pulgar? Un ensayo controlado aleatorizado multicéntrico. *RMD Open* 2019;5: e001046.
- dieciséis.**Aicher, C. Heeschen, K-Ichiro Sasaki, C. Urbich. AM Zeiher, S. Dimmeler (2006) Ondas de choque de baja energía para mejorar el reclutamiento de células progenitoras endoteliales: una nueva modalidad para aumentar la eficacia de la terapia celular en la isquemia crónica de las extremidades posteriores. *Circulation* 114: 2823-2830.
- 17.D. Lobenwein, Can G. Tepekeoylu, R. Kozaryn, J. Pechriggl, M. Bitsche, et al. (2015) Holfeld. El tratamiento con ondas de choque protege contra la degeneración neuronal mediante un mecanismo dependiente del receptor tipo Toll 3: Implicaciones de un primer tratamiento causal para la lesión medular isquémica. *J. Am Heart Assoc* 4: e002440.
- 18.¿Pueden los exosomas que contienen miR-19a-3p mejorar la función del miocardio isquémico tras la terapia de ondas de choque? *Cardiovascular Research* 116: 1226-1236.
- 19.NG Sukubo, E. Tibalt, S. Respizzi, M. Locati, MC d' Agostino (2015) Efecto de las ondas de choque en los macrófagos: Un posible papel en la regeneración y remodelación tisular. *Revista de Cirugía* 24: 124-130.
- 20.Fernihough J, Gentry C, Bevan S, Winter J (2005) Regulación del péptido relacionado con el gen de la calcitonina y TRPV1 en un modelo de osteoartritis en ratas. *Neurosci Lett* 388: 75-80.
- 21.N. Ochiai, S. Ohtori, T. Sasho, K. Nakagawa, K. Takahashi, N. Takahashi, et al. (2007) La terapia de ondas de choque extracorpóreas mejora la disfunción motora y el dolor causados por la osteoartritis de rodilla en ratas. *Osteoarthritis y Cartílago* 15: 1093-1096.
- 22.TA Nees, N Rosshirt, T Reiner, M Schiltenswolf, B. Moradi, et al. (2019) Inflamación y dolor relacionado con la osteoartritis [Artículo en alemán]. *Schmerz* 33: 4-12.
- 23.MC d'Agostino, K. Craig, E. Tibalt. Respizzi (2015) Ondas de choque como herramienta terapéutica biológica: De la estimulación mecánica a la recuperación y la cicatrización mediante mecanotransducción. *Revista Internacional de Cirugía* 24: 147-153.
- 24.C. Huang, J. Holfeld, W. Schaden, D. Orgill, R. Ogawa (2013) Mecanoterapia: una revisión de la fisioterapia y el desarrollo de la mecanobiología para una nueva era en la medicina. *Tendencias en Medicina Molecular*, 19 de septiembre: 555-564.
- 25.CH Turner, FM Pavalko (1998) Mecanotransducción y respuesta funcional del esqueleto al estrés físico: Mecanismos y mecánica de la adaptación ósea. *J. Orthop Sci* 3: 346-355.
- 26.EL Carstensen, KJ Parker, D. Dalecki, DC Hocking (2016) Efectos biológicos de la deformación cortante de baja frecuencia. Parte 1. Descriptores físicos. *Ultrasound Med Biol* 42: 1-15.
- 27.SP López, JM Fuster, P. Candelas, DT-Serrano, SC-Ibáñez, et al. (2020) Enfoque de ultrasonido bifocal utilizando lentes de placa de zona Bi-Fresnel. *Sensores* 2020.
- 28.DT-Serrano, SP López, P. Candelas, A. Uris, C. Rubio (2019) Mejora del enfoque acústico en lentes de placa de Fresnel. *Scientific Reports* 9: 7067.
- 29.B. Moretti, F. Iannone, A. Notarnicola, G. Lapadula, L. Moretti, et al. (2008) Las ondas de choque extracorpóreas regulan negativamente la expresión de interleucina-10 y factor de necrosis tumoral alfa en condrocitos osteoartroíticos. *BMC Musculoskeletal Disorders* 9: 16.
- 30.S. Mayer-Wagner, J. Ernst, M. Maier, M. Chiquet, H. Joos, et al. (2010) El efecto de las ondas de choque extracorpóreas de alta energía sobre el cartílago hialino de ratas adultas in vivo. *J Orthop Res* 28: 1050-1056.
- 31.Qiaodan Ji, Pu Wang, Chengqi He (2016) Terapia de ondas de choque extracorpóreas como un tratamiento novedoso y potencial para la enfermedad degenerativa del cartílago y los huesos: osteoartritis. Análisis cualitativo de la literatura. *Avances en Biofísica y Biología Molecular* 121: 255-265.
- 32.Chen, T.-W., Lin, C.-W., Lee, C.-L., Chen, C.-H., Chen, Y.-J., et al. (2014) Eficacia de la terapia de ondas de choque en pacientes con osteoartritis de rodilla y ciamela poplíteas. *Kaohsiung J. Med. Sci* 30: 362-370.
- 33.J.-K. Lee, POR Lee, W-Yong Shin, Min-Ji An, K-Ik Jung, et al. (2017) Efecto de la terapia extracorpórea con ondas de choque versus inyecciones intraarticulares de ácido hialurónico para el tratamiento de la osteoartritis de rodilla. *Ann Rehabil. Med* 41: 828-835.
- 34.Wei Li, Yu Pan, Qi Yang, Zheng-Gui Guo, Qi Yue, et al. (2018) Terapia de ondas de choque extracorpóreas para el tratamiento de la osteoartritis de rodilla. Un estudio retrospectivo. *Medicine* 97: e11418.
- 35.Ya-Fei Zhang, Yang Liu, Shao-Wen Chou, Hao Weng (2021) Efectos dosis-dependientes de la terapia de ondas de choque radiales para la osteoartritis de rodilla: Un ensayo clínico aleatorizado. *J Rehabil Med* 53: 00144.
- 36.Jin-H. Kim, Ja-Y. Kim, Cheol-Min Choi, June-K. Lee, Hoi-Sung Kee, et al. (2015) Efectos Dosis-Relacionados con la Terapia de Ondas de Choque Extracorpóreas para la Osteoartritis de Rodilla. *Ann Rehabil Med* 39: 616-623.

Citación:Visconti S, Torres F, Cuko G, Di Pardo F, Gosetti R, et al. (2021) Efectos de un nuevo tipo de onda de choque (onda de choque diamagnética) en el tratamiento de la osteoartrosis del pulgar: Estudio de una serie de casos y una perspectiva sobre una mecanoterapia indolora. J Orthop Res Ther 6: 1186. DOI: 10.29011/2575-8241.001186

- 37.Sung J. Cho, Ja R. Yang, Hee S. Yang, Hea-E. Yang (2016) Terapia en pacientes con ictus crónico y osteoartritis de rodilla: Un estudio piloto. Ann Rehabil Med 40: 862-870.
- 38.DA Walsh, Paul I. Mapp, S. Kelly (2015) Péptido relacionado con el gen de la calcitonina en la articulación: contribución al dolor y la inflamación. Br J Clin Pharmacol 80: 965-978.
- 39.S. Grässel, D. (2017) Fibras nerviosas periféricas de Muschter y sus neurotransmisores en la patología de la osteoartritis. Int. J. Mol. Sci 931.
- 40.M. Yamato, T. Kimura (2020) Procesamiento magnético de materiales diamagnéticos. Polímeros (Basilea) 12: 1491.
- 41.R. Jackson (2015) John Tyndall y la historia temprana del diamagnetismo. Anales de la Ciencia 72: 435-489.
- 42.KO Johnson (2001) Los roles y funciones de los mecanorreceptores cutáneos. Curr. Opin. Neurobiol 11: 455-461.