

Revisar

Ingeniero Nano Biomed

La correlación entre la fractura vertebral osteoporótica y la afección del músculo paravertebral y su tratamiento clínico

Haifeng Hao, Peihong Teng, Chang Liu, Guifeng Liu 

Departamento de Radiología, Hospital Unión China-Japón de la Universidad de Jilin, Changchun 130000, China

 Autor correspondiente. Correo electrónico: gfliu@jlu.edu.cn

Recibió: 27 de junio de 2023; Revisado: 26 de septiembre de 2023; Aceptado: 31 de octubre de 2023

Citación: HF Hao, PH Teng, C. Liu y col. La correlación entre la fractura vertebral osteoporótica y la condición del músculo paravertebral y su tratamiento clínico. *Nano Biomedicina e Ingeniería*, 2024.<http://doi.org/10.26599/NBE.2024.9290051>

Abstracto

La fractura vertebral osteoporótica (FVO) es una complicación común en pacientes con osteoporosis. La calidad y el estado funcional de los músculos que rodean la columna son uno de los factores importantes que influyen en la aparición de OVF. Los músculos desempeñan un papel en las interacciones tanto mecánicas como químicas con los huesos adyacentes. Los músculos que rodean la columna influyen en la macroestructura y microestructura de las vértebras espinales a través de diversos mecanismos para proteger y mantener la estabilidad y fuerza de la columna. Sin embargo, la calidad y función anormal de los músculos pueden tener un impacto negativo en las vértebras. Para la prevención secundaria se puede emplear la detección de la calidad y función muscular en individuos con riesgo de FOV mediante métodos radiográficos, físicos y otros métodos bioquímicos. Mientras tanto, la utilización de diversas tecnologías nanomoleculares novedosas cada vez más maduras puede tener un impacto positivo en el tratamiento de la OVF y la fuerza vertebral, mitigando las consecuencias clínicas de la aparición de la OVF.

Palabras clave: fractura vertebral osteoporótica (OVF); músculos paravertebrales; tecnología nanomolecular; radiología; radiómica; prevención secundaria

Introducción

La población mundial está experimentando un aumento gradual del envejecimiento y la osteoporosis está emergiendo lentamente como un problema de salud importante entre las personas de 50 años o más en todo el mundo. Dada la gran población de China y la creciente proporción de personas mayores, es necesario realizar más investigaciones en profundidad sobre la osteoporosis. La aparición de osteoporosis está estrechamente relacionada con la pérdida ósea. Los huesos sanos poseen una estructura jerárquica completa para adquirir suficiente rigidez y dureza para mantener

su fuerza, soportar fuerzas externas y prevenir fracturas. Esta estructura incluye la estructura de triple hélice del colágeno tipo I, proteínas no colágenas y el depósito de hidroxapatita en su interior. La integridad del esqueleto se mantiene mediante la remodelación ósea, que es un proceso continuo y coordinado temporalmente de resorción y formación ósea. La remodelación ósea la lleva a cabo la unidad multicelular básica (UMB), que está formada por osteoblastos, osteoclastos y células óseas, entre otros. Antes de la edad adulta, el esqueleto continuamente en proceso de construcción, modelado y remodelación. La formación y la resorción ósea están en positivo.

equilibrio durante este período, lo que lleva a un aumento de la masa ósea y al logro de la masa ósea máxima. Durante la edad adulta, la remodelación ósea se mantiene equilibrada, ayudando a mantener la masa ósea. Sin embargo, con la edad, se produce un cambio hacia un equilibrio negativo entre la formación y la resorción ósea, lo que da lugar a un desequilibrio en la remodelación ósea y la consiguiente pérdida ósea. Los diversos mecanismos moleculares del cuerpo humano que provocan un equilibrio negativo en la remodelación ósea son complejos y diversos. En general, es el resultado de la interacción entre factores genéticos y ambientales (Figura 1). Con el avance de la edad y la aparición de la menopausia en las mujeres, se producen desequilibrios hormonales en el cuerpo. La disminución de los niveles de estrógeno y el proceso de envejecimiento provocan una disminución de la función inmune del cuerpo, lo que resulta en un estado proinflamatorio. Varios mediadores inflamatorios pueden inducir la expresión de M-CSF y RANKL, que estimulan los osteoclastos y, en última instancia,

conducir a la pérdida ósea. El estrógeno y la testosterona tienen propiedades antioxidantes en el cuerpo. Sin embargo, en los hombres de edad avanzada, los niveles de globulina transportadora de hormonas sexuales (SHBG) aumentan continuamente, lo que lleva a una biodisponibilidad reducida de testosterona y estradiol. Esta situación da como resultado la acumulación de especies reactivas de oxígeno en el cuerpo, lo que promueve la apoptosis de células madre mesenquimales, osteoblastos y células óseas, lo que en última instancia conduce a una disminución en la formación de hueso. Además, otras hormonas, como la hormona del crecimiento (GH), y la función del eje del factor de crecimiento similar a la insulina (IGF), también disminuyen. El envejecimiento celular, la alteración de la microbiota intestinal, la deficiencia de vitamina D en los ancianos y la degeneración del tejido muscular o enfermedades relacionadas son factores importantes que contribuyen al desequilibrio en la remodelación ósea. Usando asociación de todo el genoma estudios (GWAS), los investigadores han identificado casi 600 loci genéticos asociados con la densidad ósea, la osteoporosis y las fracturas [1]. Estos hallazgos pueden

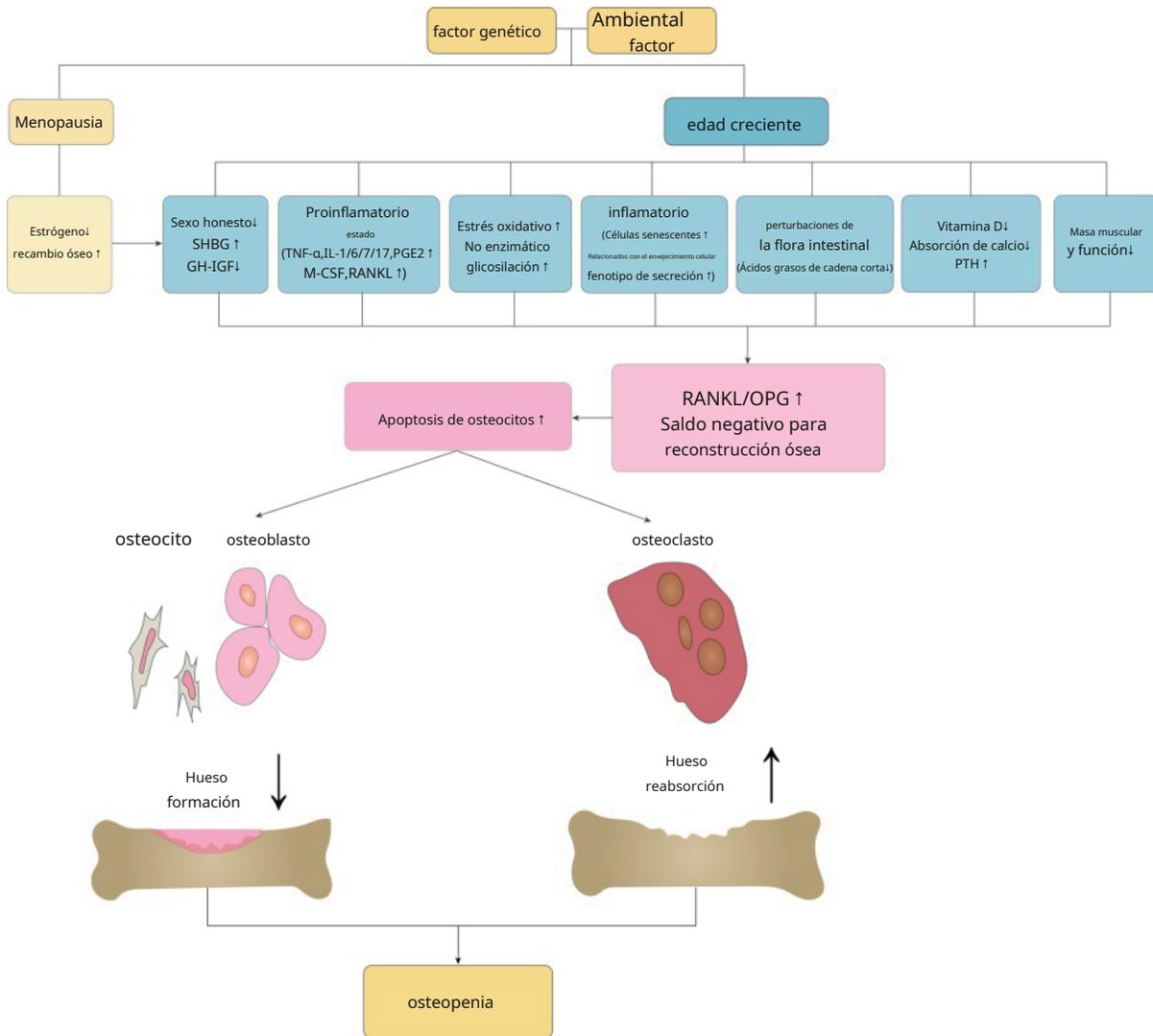


Figura 1 Mecanismos moleculares del desequilibrio en la remodelación ósea.

explica aproximadamente el 20% de la variabilidad en la densidad ósea humana.²]. Los genes de susceptibilidad con funciones conocidas identificados mediante GWAS se distribuyen principalmente en cuatro vías biológicas del metabolismo óseo: la vía de señalización WNT (que incluye genes como LRP5, SOST, WNT10B, WNT16, SFRP1, FOXC2, LRP4, GPR177 y CTNFB1), la vía de señalización RANK (incluidos RANKL, RANK y OPG), la vía de señalización de la vitamina D (que involucra VDR y DBP) y la vía de señalización de los estrógenos (incluidos ESR1, ESR2 y CYP19A1) [3–6]. Estos factores actúan a través de las vías del metabolismo óseo del cuerpo en la UMB y, en última instancia, conducen al desarrollo de osteoporosis.

Es posible que la osteoporosis en sí misma no afecte significativamente la calidad de vida de las personas, pero la aparición posterior de fracturas vertebrales osteoporóticas (FVO) puede afectar en gran medida la calidad de vida, especialmente entre la población de mediana edad y de edad avanzada. Las fracturas osteoporóticas son una complicación característica de la osteoporosis. Los estudios epidemiológicos han demostrado que más de un tercio de las mujeres y una quinta parte de los hombres mayores de 50 años sufrirán al menos una fractura por fragilidad.⁷]. Entre estas fracturas, las fracturas por compresión vertebral son las más comunes y representan aproximadamente el 50% de todas las fracturas osteoporóticas.^{7, 8}]. Se encuentran entre las complicaciones para las que los pacientes con osteoporosis deben tomar medidas preventivas en una etapa temprana. En 1993, el Dr. Genant, radiólogo de la Universidad de California, introdujo el método semicuantitativo de Genant para la clasificación.⁹]. Este sistema de clasificación se basa en la forma del cuerpo vertebral en las radiografías laterales (incluidos los tipos en forma de cuña, bicóncava y de compresión), así como en las alturas de las porciones anterior, posterior y/o media del cuerpo vertebral, , junto con el área proyectada del

cuerpo vertebral (Figura 2). Este método de clasificación ha demostrado ser una herramienta valiosa para diagnosticar y pronosticar la OVF y se utiliza ampliamente en la investigación epidemiológica. Hay muchos factores que influyen en la FVO y, entre ellos, la calidad de los músculos que rodean las vértebras es un factor importante que puede intervenir eficazmente para lograr la prevención secundaria de la FVO.

Tanto el hueso como el músculo tienen un origen común, diferenciándose de las células madre mesenquimales entre las capas del mesodermo y el ectodermo, y su estrecha relación anatómica proporciona una condición posicional para las señales mecánicas y químicas entre ellos.¹⁰]. Los músculos ejercen una influencia sobre la masa ósea adyacente a través de estos dos aspectos, lo que los convierte en uno de los factores de riesgo de FVO. Los pacientes con osteoporosis generalmente son mayores y, como resultado, el estado funcional de los músculos que rodean las vértebras disminuye con la edad. Esta disminución se manifiesta principalmente en dos aspectos: una disminución de la masa muscular y una disminución de la función muscular.¹¹]. La disminución de la masa muscular incluye principalmente una reducción del volumen muscular y un aumento de la infiltración de grasa, mientras que los principales indicadores para evaluar la función muscular incluyen la fuerza, la resistencia y la capacidad funcional de los músculos. Por lo tanto, podemos lograr el objetivo de estimar el riesgo de FVO midiendo y evaluando tempranamente la función fisiológica de los músculos paraespinales. Con base en esta evaluación, podemos implementar estrategias de prevención razonables para la aparición de la enfermedad y brindar un tratamiento clínico oportuno y adecuado adaptado a la situación. características del sistema musculoesquelético para reducir diversas pérdidas. En este sentido, este artículo proporciona una revisión de la relación entre la OVF y la masa muscular paraespinal, así como los métodos de evaluación y tratamientos asociados con ella, basada en una revisión de la literatura relevante reciente tanto en chino como en inglés.



Figura 2 Genant semicuantitativo (a) Clasificación y (b) Clasificación de OVF.

Mecanismo de influencia de los músculos sobre los huesos.

Los estudios han indicado que los músculos influyen en los huesos principalmente a través de la estimulación mecánica y la secreción de factores bioactivos.^[12], abarcando interacciones tanto mecánicas como químicas. En primer lugar, las interacciones mecánicas se refieren a la comprensión tradicional de la relación entre músculos y huesos en términos de fuerzas mecánicas. La contracción muscular sirve como fuente de carga mecánica aplicada a los huesos, y los músculos circundantes generan tensión en las células formadoras de hueso, conocidas como osteoblastos, a través de la contracción, estimulando la formación de hueso nuevo.^[13] Este proceso promueve la renovación y el crecimiento de las células óseas, además de aumentar la densidad y la fuerza ósea.^[10] Un estudio de Lam et al. ^[14] descubrió que las contracciones musculares inducidas por estimulación eléctrica dinámica pueden suprimir parcialmente la degradación de la estructura ósea trabecular y la pérdida de masa ósea resultante de la falta de actividad de carga de peso. Esto sugiere que las contracciones musculares pueden ayudar a reducir la pérdida ósea hasta cierto punto. Además, Manske et al. ^[15] observaron alteraciones temporales de la marcha en animales de experimentación tras la inyección de toxina botulínica, acompañadas de atrofia muscular continua y pérdida de masa ósea. Esto indica el importante papel de la calidad muscular en el mantenimiento de una masa ósea normal. Otro aspecto es la influencia química de los músculos sobre los huesos, donde los músculos actúan como órganos endocrinos. Pederson y sus colegas describieron por primera vez los músculos como órganos secretores en 2010 y acuñaron el término "mioquinas" para los factores secretados por los músculos.^[dieciséis] Estas mioquinas incluyen citocinas, factores inflamatorios y hormonas endocrinas. Estas "mioquinas" actúan sobre células osteogénicas (precursores), osteoclastos y otras células a través de mecanismos endocrinos o paracrinos, ejerciendo efectos osteogénicos u osteoclastinadores. Los ejemplos específicos incluyen factores morfogenéticos óseos, factor de crecimiento similar a la insulina 1, factor de crecimiento de fibroblastos, interleucina 6, interleucina 15, miostatina y otros. Los factores morfogenéticos óseos, por ejemplo, aumentan principalmente la masa ósea al promover la formación ósea.^[17,18] Por otro lado, niveles elevados de miostatina se han asociado con una disminución de la densidad ósea, aunque aún no está claro si la miostatina afecta directamente la calidad ósea o influye indirectamente en ella a través del músculo.^[19] De la discusión anterior, se puede

observar que los músculos tienen un doble papel en la influencia química sobre los huesos, mientras que su papel mecánico mejora positivamente la densidad y la fuerza ósea.

Relación entre la Misa y función de los paravertebrales Músculos y OVf

La osteoporosis primaria puede ocurrir a cualquier edad, pero es más común en mujeres posmenopáusicas y hombres de edad avanzada.^[7] La masa muscular en el cuerpo humano alcanza su punto máximo durante la edad adulta y disminuye gradualmente con la edad.^[10] Algunos estudios respaldan que la densidad mineral ósea (DMO) disminuye a un ritmo promedio del 1% por año después de los 30 años. La fuerza muscular también disminuirá durante este período, y alrededor del 10% se perderá gradualmente durante un período de 25 a 50 años. ^[20] La pérdida progresiva de masa muscular ocurre después de los 40 años, y se estima que es aproximadamente del 8 por ciento cada 10 años hasta los 70 años.^[21] Durante el proceso de disminución de la masa muscular, también aumenta el riesgo de FVO. Li y col. ^[22] encontró que la disminución de la capacidad funcional de los músculos paravertebrales en la región lumbar conduce a cambios en los parámetros del plano sagital del tronco humano, lo que resulta en una reducción de la capacidad de equilibrio compensatorio y un mayor riesgo de caídas y fracturas en pacientes con osteoporosis. Además, el equilibrio entre las cargas internas y externas de la columna depende de la regulación de las cargas mecánicas por parte de los músculos paravertebrales lumbares.^[23] La disminución de la fuerza y potencia muscular conduce a una transmisión incompleta de las tensiones generadas durante los movimientos corporales, lo que resulta en un aumento anormal de las cargas vertebrales y aumenta la probabilidad de que ocurra FVO.^[24] En un estudio que investiga los factores de riesgo de cifosis en personas de edad avanzada, se descubrió que la disminución de la función de los músculos del tronco puede provocar cifosis espinal y desequilibrio del plano sagital. Esto, a su vez, altera la distribución de la tensión en la columna anterior de las vértebras y aumenta el riesgo de FVO.^[25, 26] Además de la disminución de la función muscular, una disminución de la masa muscular paravertebral también aumenta el riesgo de fracturas. En un estudio de Kim et al. ^[27], se encontró que los pacientes con FVO experimentan cambios significativos en el área de la sección transversal de los músculos paravertebrales y el grado de infiltración grasa después de una fractura. Estos cambios aumentan significativamente el riesgo de fracturas recurrentes después de caídas en los pacientes.

Clínicamente, un síndrome caracterizado por disminución de la masa muscular, disminución de la fuerza muscular y disminución de la actividad muscular, la sarcopenia, ha atraído la atención en diversos campos de la medicina. Rosenberg definió el concepto actual de sarcopenia como una condición que implica una pérdida de masa muscular y fuerza debido a la edad.^[28] En el estudio de Cangussu-Oliveira et al. ^[29], los pacientes osteoporóticos con sarcopenia concurrente tenían un riesgo significativamente mayor de fracturas. Entre los pacientes con OVF, el grado de infiltración de grasa del músculo paravertebral y la disminución del área de la sección transversal fueron mayores en comparación con los pacientes sin OVF. Además, algunos investigadores, después de controlar la edad y los efectos hormonales, han observado una disminución significativa en la DMO vertebral local y la fuerza ósea en ratas con daño inducido al músculo paravertebral. Esto proporciona evidencia del importante papel protector de los músculos paravertebrales en los cuerpos vertebrales.^[30] Además, la disminución de la fuerza muscular y las alteraciones en la función electrofisiológica del músculo también son factores de riesgo importantes para la FVO.^[31,32] Por tanto, los numerosos estudios sobre la correlación entre sarcopenia y FVO resaltan la estrecha relación entre la masa muscular paravertebral y la aparición de FVO.

Evaluación de la masa y función del músculo paravertebral

La calidad y función muscular se pueden evaluar mediante tres enfoques principales en la práctica clínica, utilizando diversas técnicas especializadas y diferentes perspectivas analíticas. Estos enfoques incluyen imágenes, impedancia bioeléctrica y biomarcadores, así como evaluación de la función muscular. Cada método de evaluación se centra en diferentes aspectos de la fisiología muscular y tiene sus propias ventajas y limitaciones. Clínicamente, la elección del método de evaluación puede adaptarse a las circunstancias y necesidades específicas de cada paciente.

Evaluación de imágenes

Los métodos de evaluación en imágenes no se limitan a la circunferencia o proporciones corporales superficiales. Diferentes técnicas de imagen pueden medir además la calidad de los músculos paravertebrales desde aspectos como la morfología anatómica fisiológica y la composición, obteniendo parámetros de rayos X.

absorciometría (DXA), tomografía computarizada (CT), resonancia magnética (MRI) y ultrasonido.

(1) Baumgartner et al. utilizaron por primera vez los rayos X de energía dual para la detección de masa muscular. en 1998 ^[33]. Su principio se basa en la atenuación de los fotones de rayos X a medida que pasan a través de diferentes tejidos del cuerpo, lo que permite determinar el contenido mineral óseo y la proporción de diversos tejidos corporales.^[34] La DXA puede cuantificar la masa de músculo esquelético, la masa grasa y el contenido mineral óseo en regiones específicas del cuerpo. Es una técnica comúnmente utilizada para la evaluación clínica de la masa muscular debido a su baja exposición a la radiación y su simplicidad.^[35]

(2) La TC y la RM ofrecen alta resolución tisular y proporcionan información anatómica detallada de los músculos, la grasa y otros tejidos. Se consideran el estándar de oro para evaluar la calidad muscular, ya que pueden medir con precisión parámetros como el área transversal del músculo y el grado de infiltración de grasa.^[36] Tanto la TC como la RM utilizan técnicas de imagen para analizar la composición y las proporciones del área de las regiones de interés, proporcionando en última instancia información sobre la calidad del músculo.^{Fig. 3} El Sistema de Clasificación de Goutallier (GCS) se ha establecido como un indicador confiable para evaluar la infiltración de grasa del músculo paraespinal (PMFI) mediante TC y RM.^[37-41] Sin embargo, es menos probable que esta técnica de calificación visual semicuantitativa identifique con precisión PMFI.^[42] Por el contrario, la TC de energía dual (DECT) tiene la capacidad de diferenciar diferentes componentes materiales bajo diversos espectros de energía de rayos X. En comparación con el CT tradicional de energía única ^[43], DECT ofrece la posibilidad de medir cuantitativamente la infiltración de grasa muscular sin necesidad de exposición adicional a la radiación. Recientemente, medición directa de la fracción de grasa después de la descomposición del material.

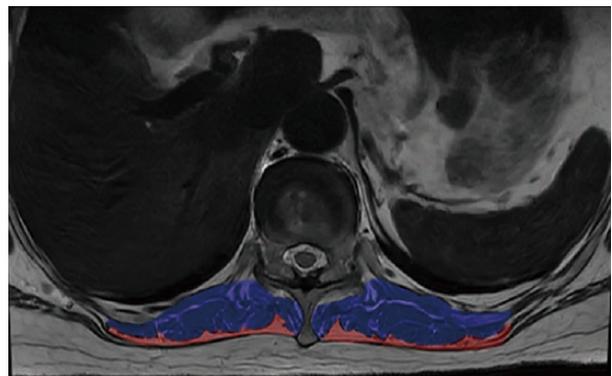


Fig. 3 La medición de los músculos paraespinales mediante resonancia magnética (el área delineada en azul representa el área de la sección transversal de los músculos paraespinales, el área delineada en rojo representa la señal de grasa).

Se ha confirmado que con DECT cuantifica y muestra con precisión la degeneración grasa de la unidad músculo-tendinosa, mostrando una fuerte correlación positiva con la clasificación de Goutallier.[44](#)].

(3) Además, la TC cuantitativa periférica (pQCT) y la pQCT de alta resolución (HR-pQCT) han surgido como herramientas de evaluación cuantitativa para los músculos, evolucionando a partir de las tomografías computarizadas estándar. También se pueden utilizar para evaluar la calidad muscular [\[34,45\]](#). En comparación con la TC normal, tanto pQCT como HR-pQCT ofrecen una mayor resolución espacial, un tiempo de exploración más corto y una menor exposición a la radiación.[46,47](#)]. Sin embargo, tienen limitaciones que dificultan su adopción clínica generalizada, como la complejidad en su funcionamiento, mayores costos y falta de protocolos estandarizados.[48,49](#)].

(4) En 2011, la Sociedad de Sarcopenia, Caquexia y Trastornos de Desgaste (SCWD) incluyó la ecografía como una herramienta de evaluación de la calidad muscular en la sarcopenia [\[50\]](#). El ultrasonido se usa comúnmente para medir el grosor del músculo como un reflejo de la calidad del músculo. Barbosa-Silva et al. [\[51\]](#) combinó la ecografía con la antropometría para desarrollar una ecuación predictiva de la masa muscular de las extremidades. Los valores de masa muscular obtenidos de esta ecuación mostraron similitud con los medidos por DXA (*PAG*-valores de 0,13 y 0,09). Esto sugiere que la ecografía tiene el potencial de servir como un método alternativo para evaluar la masa muscular en la población de edad avanzada.

bioeléctrica Impedancia y Evaluación de biomarcadores

El análisis de impedancia bioeléctrica (BIA) se considera un método conveniente, seguro, no invasivo y rentable para evaluar la calidad muscular. BIA mide la impedancia eléctrica utilizando una corriente débil que no es detectable por los humanos. Evalúa indirectamente la masa muscular valorando la impedancia de diferentes tejidos corporales, como el agua y la grasa. Xu et al. [\[52\]](#) incorporaron variables como altura, peso, sexo, edad y raza en el análisis de su investigación para reducir la variabilidad de las mediciones. Derivaron cuatro ecuaciones de predicción de BIA para evaluar la masa muscular y validaron su precisión mediante DXA y MRI. BIA tiene ventajas como seguridad, no invasividad y portabilidad. Sin embargo, los resultados de sus mediciones pueden verse influenciados por factores como el estado de hidratación, la ingesta de alimentos y la actividad física. Actualmente, se recomienda BIA para la detección comunitaria [\[53,54\]](#).

La calidad muscular abarca varios parámetros, pero la relación entre el agua extracelular (AEC) y el agua intracelular (AIC), particularmente la distribución de líquidos, se ha propuesto como un método alternativo para evaluar la calidad muscular.[55](#)]. En el estudio de Adam et al. [\[56\]](#), BIA pudo estimar y diferenciar ECW y ICW, lo que no se puede lograr con DXA y otros métodos de imagen. La combinación de DXA con BIA puede proporcionar una evaluación más completa de la calidad muscular.

Los marcadores bioquímicos como D3-creatinina, ureanitrógeno/creatinina sérica y creatinina/cistatina C sérica se pueden utilizar para evaluar la calidad muscular desde diferentes perspectivas. El método de dilución de creatinina D3 se basa en el hecho de que la creatina es un compuesto de guanidina que es absorbido activamente por las células musculares y, bajo la acción de enzimas, se convierte irreversiblemente en creatinina, que luego se excreta en la orina. Cuantificando la cantidad de D3-creatinina en la orina después de la administración oral de D3-creatina, se puede calcular la masa muscular.[34](#)]. Varios estudios [\[57–60\]](#) también han demostrado la viabilidad y precisión del método de dilución de creatinina D3 para evaluar la masa muscular. Se ha demostrado que supera algunas limitaciones de otros métodos de evaluación de la calidad muscular, como la interferencia del estado de hidratación, el tejido fibroso y la grasa en el músculo esquelético. El método de dilución de creatinina D3 solo requiere la administración oral de cápsulas de creatina y la recolección de muestras de orina, lo que lo hace más fácilmente aceptado por los pacientes en comparación con otros métodos que implican técnicas complejas o una alta exposición a la radiación. Por lo tanto, el método de dilución de D3-creatinina es prometedor como un posible método de evaluación bioquímica ampliamente utilizado en el futuro. Además, los estudios han demostrado que la relación nitrógeno ureico/creatinina sérica está asociada con la disminución de la masa del músculo esquelético medida por TC en el nivel vertebral L3.*R*0,44) [\[61\]](#). También se ha demostrado que la relación creatinina/cistatina C sérica está correlacionada con la masa del músculo esquelético del tronco medida mediante TC.*r*=0,62), lo que lo convierte en un marcador potencial de masa muscular esquelética reducida [\[62\]](#).

Evaluación de la motricidad muscular. Función

Los principales indicadores de evaluación de la función muscular incluyen la fuerza muscular, la resistencia y la función.

capacidad. En primer lugar, la fuerza muscular normalmente se evalúa mediante tres métodos: pruebas isométricas, pruebas isotónicas y pruebas isocinéticas. Cada método tiene sus propias ventajas y limitaciones, siendo las pruebas isocinéticas las más precisas. Las pruebas isocinéticas superan el inconveniente de la fuerza constante del ejercicio isotónico y la limitación de la postura fija del ejercicio isométrico.⁶³ La fuerza muscular se mide haciendo coincidir la resistencia generada por un dispositivo de prueba isocinético con el torque real producido durante la contracción muscular.⁶⁴ En segundo lugar, la resistencia muscular, también conocida como resistencia muscular, se refiere a la capacidad de un grupo de músculos para mantener contracciones repetidas durante un cierto período de tiempo, lo que lleva a una fatiga muscular suficiente, o para mantener una contracción máxima en un porcentaje específico durante un período prolongado.^{sesenta y cinco}. La medición de la resistencia dinámica se realiza contando el número de contracciones musculares, mientras que la medición de la resistencia estática se realiza manteniendo una carga fija durante un período de tiempo determinado. Los métodos de medición de la resistencia difieren en las diferentes regiones del cuerpo, y la resistencia de los músculos de las extremidades inferiores tiene un impacto significativo en la estabilidad de la marcha y el riesgo de caídas en los adultos mayores.⁶⁶ Por último, la actividad muscular se puede evaluar mediante señales electromiográficas (EMG). Las señales electromiográficas de superficie (señales EMG) implican colocar electrodos en la superficie del músculo que se está examinando y registrar las señales bioeléctricas generadas durante la actividad del sistema neuromuscular a través de la guía de electrodos.⁶⁷ Estas señales se pueden recopilar mientras los músculos experimentan diferentes tipos de contracciones (isométricas, concéntricas, excéntricas) y se usan comúnmente para evaluar el estado de actividad funcional del músculo bajo examen. Investigadores tanto a nivel nacional como internacional han realizado extensos estudios sobre la actividad y condición funcional de músculos humanos utilizando dispositivos de prueba electromiográfica. Porque los cambios en la fuerza muscular bajo diferentes cargas y formas de contracción exhiben una fuerte relación lineal con la amplitud de las señales electromiográficas.^{68,69}, el estado de la fuerza muscular se puede evaluar indirectamente a través de parámetros derivados de electromiogramas.

Mejora de paravertebrales Músculo Función y Terapia nanomolecular de OVF

Las fracturas vertebrales osteoporóticas (FVO), siendo la

La complicación más común de la osteoporosis, con los cuerpos vertebrales como el sitio más común de fracturas, impone una carga cada vez mayor a los propios pacientes, sus familias e incluso a los gobiernos nacionales en términos de aspectos físicos, psicológicos y económicos. Por tanto, la prevención y el tratamiento eficaz de la FVO son de suma importancia. La calidad y función de los músculos paraespinales, como uno de los factores de riesgo importantes para la OVF, se puede mejorar eficazmente mediante ejercicio y entrenamiento, que es fácilmente aceptado por una gran población de personas de mediana edad y ancianos, lo que conduce a mejores resultados de prevención de fracturas. Además, la nanotecnología cada vez más madura ofrece nuevos enfoques, métodos y eficacia de tratamiento para el tratamiento racional y eficaz de la FVO.

Mejora de la masa muscular y la función del ejercicio.

Teniendo en cuenta las características de edad de las personas con OVF, es necesario desarrollar métodos de ejercicio muscular adecuados y una intensidad basada en diferencias individuales. Entrenamiento de resistencia progresiva (PRT) es una categoría importante de terapia con ejercicios. Implica aumentar gradualmente la intensidad del entrenamiento de resistencia para permitir que el cuerpo se adapte y supere continuamente un cierto nivel de resistencia, mejorando así la fuerza muscular y la resistencia muscular mediante la intervención del ejercicio.⁷⁰ En el estudio realizado por Lichtenberg et al. ^[71], se observaron diferencias significativas en el índice de masa del músculo esquelético y la fuerza de agarre entre el grupo de entrenamiento de resistencia de alta intensidad de hombres ancianos y el grupo de control inactivo después de un período de 28 semanas de intervención de entrenamiento de resistencia muscular.

Además del ejercicio, también se pueden lograr efectos positivos sobre la OVF mediante una dieta nutricional y intervenciones farmacológicas. La investigación ha mostrado que la suplementación con proteínas en la dieta es una condición necesaria para aumentar la masa muscular durante el entrenamiento físico prolongado y no conduce a otros problemas de salud ^[72]. Además de promover la absorción de calcio para aumentar la masa ósea, algunos investigadores también consideran que la vitamina D es un factor que contribuye a la atrofia muscular. Una encuesta realizada a 6.812 personas mayores en Shenyang, China, encontró que la fuerza de agarre se reducía significativamente cuando los niveles séricos de 25-hidroxivitamina D3 eran bajos.⁷³

La investigación de Liu Baoxiang et al. [74] también sugiere que la vitamina D tiene un impacto positivo en la masa muscular, y la deficiencia de vitamina D puede provocar atrofia del músculo paraespinal y debilidad muscular, entre otros efectos. Sin embargo, un estudio de Lise et al. [75] sobre la vitamina D y la salud muscular contradice la mayoría de los estudios observacionales. Los resultados de su investigación mostraron que los suplementos de vitamina D condujeron a un aumento en el tiempo de resistencia muscular, una disminución en la fuerza muscular máxima durante la flexión de la rodilla y una disminución en las puntuaciones de la batería de rendimiento físico corto (SPPB). Por lo tanto, es necesario considerar más a fondo la necesidad y viabilidad de la suplementación con vitamina D en la prevención secundaria de la FVO. Para los pacientes con afecciones de desgaste muscular como la sarcopenia, la terapia farmacológica para reducir el riesgo de OVf es un enfoque de tratamiento primario.[76]. Actualmente, no existen medicamentos específicos identificados para tratar la atrofia muscular, pero las investigaciones han encontrado que ciertos medicamentos hormonales, antidiabéticos, antiinflamatorios, así como inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina y b2, agonistas de los receptores, han demostrado cierta eficacia en la restauración de la masa y la función muscular.

Se ha demostrado que los medicamentos hormonales como la testosterona, la hormona del crecimiento y los inhibidores de la miostatina tienen cierto efecto en el mantenimiento de la masa y la función muscular.[77-83]. La testosterona puede promover la síntesis de proteínas en tejidos como músculos y huesos activando la vía de señalización PI3K/Akt/mTOR. También inhibe la activación de los sistemas ubiquitinaproteasoma y autofágico-lisosomal al suprimir la activación de los factores de transcripción FoxO, reduciendo la degradación de proteínas. Además, la testosterona puede estimular la proliferación de células musculares a través de la vía Ras/MEK/ERK e indirectamente aumentar la masa y la fuerza muscular al unirse a receptores dentro de las células, inhibiendo así la expresión de miostatina. La testosterona también mejora la densidad ósea y reduce el contenido de grasa al tiempo que promueve la secreción de la hormona del crecimiento, ejerciendo los efectos antes mencionados (Figura 4). Sin embargo, el uso prolongado de estos medicamentos debe considerarse cuidadosamente debido a posibles reacciones adversas.[84]. Los moduladores selectivos del receptor de andrógenos (SARM) son una clase de compuestos que actúan como agonistas o antagonistas del receptor de andrógenos. En comparación con

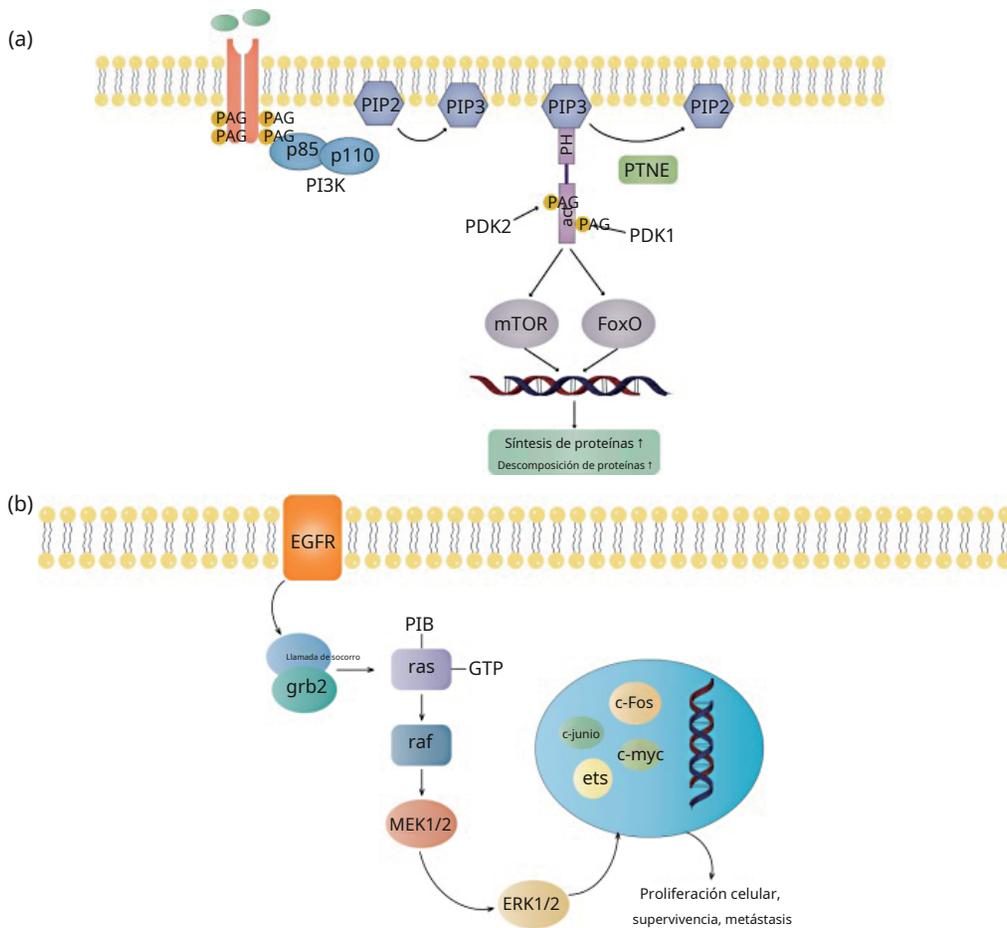


Figura 4 (a)PI3K/Akt,(b)Vías de señalización Ras/MEK/ERK.

testosterona, los SARM exhiben los efectos anabólicos de los andrógenos en el tejido muscular al tiempo que minimizan el impacto en otros órganos, reduciendo así la aparición de reacciones adversas [85–87]. Actualmente, SARM como GTx-024, GSK2881078 y MK-0773 han demostrado un gran potencial en el tratamiento de afecciones de atrofia muscular. GTx-024, en particular, ha demostrado la capacidad de aumentar la masa corporal magra, mejorar la fuerza muscular y la función física, y ha demostrado una buena tolerabilidad en ensayos clínicos con mujeres posmenopáusicas y hombres de edad avanzada.[88]. El fármaco antidiabético metformina se considera una opción ideal para pacientes obesos con diabetes tipo 2 que también padecen enfermedades de atrofia muscular.[89–92]. Otros fármacos antidiabéticos, agentes antiinflamatorios, inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina, agonistas del receptor β2 y medicamentos similares también se pueden utilizar apropiadamente en casos específicos de atrofia muscular, pero su eficacia clínica, alcance de aplicación y población objetivo requieren mayor consideración e investigación.

Tratamiento nanomolecular para la OVF

La nanotecnología, como parte crucial de la ingeniería de tejidos, se ha desarrollado rápidamente en los últimos años y ha creado diversos nanomateriales aplicados en diversos campos biomédicos, como la administración de fármacos, la regeneración de tejidos, aplicaciones antimicrobianas y antiinflamatorias, transfección de genes y tecnologías de imágenes, entre otros. [93–95]. Como se muestra en [tabla 1](#), varios han jugado papeles esenciales en la regeneración y reparación ósea a través de diferentes mecanismos [96]. Como se mencionó anteriormente, algunos productos biológicos (como

hormonas, proteínas morfogenéticas óseas y factores de crecimiento) se han utilizado en tratamientos clínicos para mejorar la reparación de fracturas.[97]. Pueden evitar significativamente muchas deficiencias de las modalidades de tratamiento tradicionales, como la pseudoartrosis y el retraso en la consolidación de las fracturas después de la fijación con tornillos, para mejorar los resultados clínicos. Sin embargo, estos medicamentos a menudo tienen poca estabilidad y se asocian con algunas reacciones adversas o complicaciones (como reacciones a la infusión, palpitations y disfunción inmune), lo que resulta en una alta carga financiera para los pacientes.[98, 99]. Además, la compatibilidad de los materiales compuestos existentes con los tejidos del huésped suele ser deficiente, lo que genera problemas como reacciones de rechazo, infecciones y compresión del material del implante. Para el cuestiones antes mencionadas, la nanotecnología puede proporcionar una herramienta más estable y factible para el diseño de estructuras de andamios y la liberación controlada de fármacos. Los sistemas de administración de nanofármacos (NDDS) de alta eficiencia ofrecen ventajas como administración dirigida de medicamentos, alta capacidad de carga de medicamentos, solubilidad/estabilidad mejorada de los medicamentos y control preciso sobre la liberación de medicamentos en diversas aplicaciones biomédicas. En un estudio de Wang y colegas [100], que se centró en promover la curación de fracturas utilizando perfluorocarbonos (PFC) de tamaño nanométrico, se prepararon nanoemulsiones estables de hsa utilizando el método de microemulsión bajo la influencia de ultrasonidos, que denominaron materiales nano-PFC. El tamaño de estas nanopartículas es de aproximadamente 80 nm, lo que se encuentra dentro del rango de diámetros de lagunas óseas (80-100 nm), siendo 80 nm el valor mínimo. El análisis posterior mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM) y mediciones de dispersión dinámica de la luz (DLS) confirmaron que el nano-PFC posee un tamaño apropiado para la permeación en el

tabla 1 La función y mecanismo de los nanomateriales en la regeneración y reparación ósea.

nanomaterial	Función	Mecanismo de acción
Apatita de carbonato nanocristalino (nano-HA)		Mejora de la actividad celular de ALP y la deposición de calcio; reducir la producción de ROS (especies reactivas de oxígeno); regulación positiva de Gpx-1 (glutatión peroxidasa-1); estimular la polarización de macrófagos M2; inhibir la transcripción del ADN bacteriano.
AuNP	Promoviendo la osteogénesis diferenciación. Inhibición de la diferenciación osteoclástica. Efecto antibacteriano.	Inducir la migración de fibroblastos; activar la transducción de señales de TGF-β/BMP; induciendo la producción de ROS.
AgNP		Activar la vía de señalización MAPK; reducir la formación de actina; inducir la fragmentación del ADN bacteriano.
SeNP		Activación de la vía JNK/FoxO3; reducir la concentración de trifosfato de adenosina (ATP); aumento de la concentración de ROS; alterando el potencial de membrana bacteriana.

Microambiente óseo. Su equipo realizó una serie de análisis experimentales sobre la promoción de la curación de fracturas de huesos de conejo mediante nano-PFC y descubrió que el nano-PFC aumentaba significativamente las concentraciones locales de factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF), metaloproteinasa de matriz-9 (MMP-9) y osteocalcina en el microambiente de la fractura. También mejoró la actividad y funcionalidad de los osteoblastos, mejorando enormemente su estado de activación. Estos factores juntos estimularon la reparación y remodelación ósea. En otro estudio [101], se aplicaron por separado nanomateriales multifuncionales llamados "ácidos nucleicos de estructura tetraédrica (tFNA)" a ratones osteoporóticos ancianos con fracturas completas y femorales. La evaluación se centró en la formación ósea y vascular temprana durante la curación del callo de fractura en el contexto de osteoporosis y fracturas osteoporóticas en personas mayores. Los hallazgos de la investigación indicaron que las tFNA podrían promover la reparación temprana de fracturas osteoporóticas en los ancianos al mejorar la formación ósea y vascular dentro del callo de la fractura. Este efecto puede estar mediado a través de la vía SIRT1 relacionada con foxo1. La investigación sobre nanopartículas para la administración y el tratamiento de fármacos locales avanza continuamente y un número cada vez mayor de nanomateriales que benefician la curación de fracturas están entrando en la conciencia pública. En el futuro, a medida que la nanotecnología siga madurando, la prevención y el tratamiento de la FVO pueden entrar en una nueva fase caracterizada por la seguridad y la eficacia.

La aplicación de la tecnología de nanomateriales en OVF se extiende más allá de los materiales farmacológicos locales de tamaño nanométrico para la terapia de administración. Los tratamientos quirúrgicos para las fracturas vertebrales tradicionalmente incluyen fusión por descompresión anterior y/o fusión por fijación interna posterior, pero estos enfoques no son adecuados para personas de edad avanzada debido a sus condiciones de salud fisiológica y tienen una tasa de fracaso posoperatorio relativamente alta. Por lo tanto, las cirugías mínimamente invasivas como el aumento vertebral y la cifoplastia se están convirtiendo en métodos quirúrgicos más seguros y eficaces para el tratamiento de la FVO. [102]. Estos procedimientos implican inyectar biomateriales autoendurecibles (como cemento óseo) en el cuerpo vertebral para reforzar su resistencia. Algunos investigadores sugieren que dado que el hueso en sí es un material nanocompuesto natural, puede ser posible promover la regeneración ósea nueva y fortalecer el hueso imitando las características de tamaño del hueso natural mediante la adición de materiales a nanoescala apropiados a los materiales inyectados en la columna vertebral.

cuerpo. En este sentido, algunos estudios han analizado los efectos de combinar cemento óseo inyectado durante la cirugía con materiales a nanoescala. Actualmente, materiales inyectables para el aumento vertebral incluyen cemento óseo de polimetacrilato de metilo (PMMA) [103], cemento óseo de fosfato cálcico [104], cemento óseo de sulfato de calcio (CSC) [105] e hidrogeles inyectables.

En primer lugar, el cemento óseo de polimetilmetacrilato (PMMA) es uno de los cementos óseos más utilizados en la práctica clínica. Posee buenas propiedades de solidificación y rendimiento mecánico suficiente para el aumento vertebral en casos de fracturas. Sin embargo, el PMMA carece del potencial biológico para remodelar o integrarse en el hueso, y el problema de la rigidez excesiva que puede provocar fracturas de segmentos adyacentes es un defecto inherente que no puede evitarse mediante procedimientos quirúrgicos cuidadosos. [106]. La nanotecnología puede ayudar a abordar estas cuestiones. Muchos estudios han indicado que el PMMA modificado con aditivos nanoestructurados puede mejorar la actividad de las células óseas, incluso si estos aditivos en sí no poseen actividad biológica. Ricker et al. [106] informaron que el cemento óseo de PMMA con nanofases de MgO y BaSO₄ tenía una mayor densidad de células de osteoblastos adheridas después de 4 h de cultivo en comparación con el cemento óseo de PMMA puro. Además, se estudió el impacto de agregar 10% en peso de nanopartículas de MgO (con un diámetro de 12,8 nm) a PMMA sobre la rugosidad de la superficie del cemento. Los resultados mostraron que la adición de nano-MgO aumentó significativamente la rugosidad de la superficie en comparación con el PMMA modificado con la misma cantidad de micropartículas. [107]. De manera similar, incrustando TiO₂ Las nanopartículas con un diámetro de 32 nm en una matriz polimérica aumentaron la rugosidad de la nanosuperficie, mejorando así la actividad de las células de los osteoblastos. La rigidez ultraalta del cemento óseo de PMMA, con un módulo elástico que alcanza 2 a 3 GPa, es de 4 a 40 veces mayor que la del hueso trabecular humano (50 a 800 MPa, según la ubicación). Esta alta rigidez produce un efecto de protección contra la tensión, debilitando las vértebras adyacentes y, en última instancia, provocando fracturas. dentro del hueso endurecido de polimetilmetacrilato cemento, creando una estructura porosa. Esta estrategia de crear una estructura porosa se está convirtiendo en un enfoque eficaz para superar la rigidez ultraalta del cemento óseo de polimetilmetacrilato en el tratamiento de OVF. Por ejemplo, cuando se agrega una solución de gel de hialuronato de sodio al 2%, el módulo elástico y el límite elástico del PMMA disminuyen. [108].

En segundo lugar, como alternativa al polimetilo.

El cemento óseo de metacrilato y el cemento de fosfato cálcico (CPC) han ganado mucha atención debido a su similitud química con el hueso natural, su alta biocompatibilidad, biodegradabilidad y reacción isotérmica durante el curado. El CPC generalmente se compone de uno o más compuestos de fosfato de calcio (como $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (CORREOS₄)₆·5H₂O) y una fase líquida de agua o solución que contiene fosfato. Dependiendo de la composición del producto final, el CPC generalmente se divide en CPC de fosfato dicálcico dihidrato (brushita) o CPC de hidroxiapatita. Sin embargo, debido a sus propiedades mecánicas inadecuadas, largos tiempos de curado y endurecimiento y degradación incontrolada, la mayoría de los productos comerciales de CPC no son adecuados para tratar la FVO o reemplazar los huesos que soportan peso en pacientes. Para abordar estos desafíos, muchas empresas y grupos de investigación han desarrollado CPC nanomejorado [109-111]. Algunas de estas estrategias implican reducir el tamaño de las partículas de los compuestos de fosfato de calcio iniciales al rango nanométrico o submicrónico, mientras que otras implican agregar materiales nanofásicos a los sistemas CPC existentes. Disminución del tamaño de partícula de α -tricálcio y β -El fosfato tricálcico puede acortar significativamente el tiempo de fraguado del cemento, promover la nucleación de cristales de hidroxiapatita, acelerar el endurecimiento del cemento, sin afectar significativamente la resistencia a la compresión última del cemento ($41 \pm 1,8$ MPa) [112]. Además de la reducción del tamaño de las partículas, se ha explorado la incorporación de nanofibras ultrafinas preparadas mediante electrohilado al CPC y los resultados han mostrado una mejora significativa en la resistencia a la fractura del CPC. El módulo elástico de este material compuesto de nanofibras de policarbonato (15-50 GPa) es comparable al del hueso cortical humano, y la degradación de las fibras introduce poros y canales de conexión para el crecimiento óseo. [113]. Además del fosfato de calcio, el sulfato de calcio (CSC), también conocido como yeso, tiene una mayor resistencia mecánica en comparación con el CPC, pero se degrada mucho más rápidamente. Las investigaciones han demostrado que el cuerpo puede absorber completamente el CSC unas pocas semanas después de la implantación, y esta rápida tasa de degradación da como resultado una estabilidad mecánica inadecuada del CSC, lo que lleva a un desajuste entre la remodelación ósea y la degradación del cemento. Del mismo modo, la incorporación de materiales nanoestructurados ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar las propiedades mecánicas de la CSC. Los estudios sobre la influencia de las partículas nanocerámicas en la reacción de hidratación y las propiedades mecánicas de la CSC han mostrado resultados prometedores. Por ejemplo, cuando el arco

polvo de horno que contiene principalmente $\text{ZnO-Fe}_2\text{O}_4$ Se agregaron nanopartículas en una concentración del 10%, la resistencia a la compresión del CSC alcanzó 72 MPa después de 42 días. Otro estudio sobre cementos nanocompuestos que contienen CSH y carbonato apatito nanocristalino biomimético (nano-HA) mostró que el cemento nanocompuesto tenía un tiempo de fraguado inicial y la inyectabilidad aumentó a 33 min y 95%, respectivamente, en comparación con 7 min y 71% para CSH puro. [114]. Para controlar la tasa de degradación de CSC, Liu et al. estudió la degradación de un material compuesto nanocristalino de HA/CSH y descubrió que agregar 30% en peso de nanocristales de HA al CSH tenía un impacto significativo en la tasa de degradación del cemento compuesto. [115].

Finalmente, además del cemento óseo, se han estudiado hidrogeles inyectables para la reparación ósea y como portadores inyectables de factores de crecimiento, fármacos, células regenerativas y más. En comparación con el cemento óseo, los hidrogeles inyectables tienen capacidades únicas de reticulación in situ y contienen abundantes grupos carboxilo que pueden quelarse con fosfato cálcico, promoviendo así la formación de compuestos de polímero/fosfato cálcico que se asemejan al hueso natural. Sin embargo, los propios hidrogeles suelen ser demasiado blandos para su uso en la reparación de huesos que soportan carga, como la columna vertebral. Agregar componentes a nanoescala a los sistemas de hidrogel es una forma eficaz de mejorar la resistencia del soporte elástico de los hidrogeles y crear nuevas funcionalidades. Campbell y cols. diseñó un hidrogel compuesto de poli (n-isopropilacrilamida) inyectable mejorado con nanopartículas superparamagnéticas de óxido de hierro, que demostró una alta elasticidad ($G' \sim 60$ kPa) y contraste para imágenes por resonancia magnética (MRI) [116]. Mientras tanto, para ampliar la aplicación de hidrogeles en huesos que soportan carga, como la columna vertebral, algunos investigadores han utilizado la administración

de sistemas compuesto de electrohilado escuela politécnica(e- caprolactona) tubos de malla de nanofibras para soportar hidrogeles de alginato temporalmente hasta que se logre una regeneración ósea sustancial [117]. La principal ventaja de los tubos de malla de nanofibras es que pueden favorecer la infiltración celular y la formación de hueso al tiempo que actúan como una barrera que separa las regiones óseas y no óseas.

Resumen y perspectivas

En resumen, los músculos paravertebrales ejercen

Influencias mecánicas y químicas sobre el hueso vertebral correspondiente. Con la edad, la masa muscular paravertebral disminuye gradualmente, caracterizándose por un mayor porcentaje de grasa, una reducción del volumen muscular, una disminución de la función endocrina y una disminución de las capacidades musculares. Esta disminución de la masa muscular debilita la estimulación positiva sobre la densidad, la dureza y la masa del hueso vertebral, aumentando así el riesgo de FVO. Las consecuencias clínicas de la OVf incluyen dolor crónico incapacitante, deformidad de la columna con cifosis circular, disfunción pulmonar, pérdida de movilidad, deterioro severo de las actividades de la vida diaria, deterioro psicosocial (particularmente depresión) y mortalidad excesiva a largo plazo.¹¹⁸ Otro problema es la pesada carga financiera que suponen las fracturas vertebrales. Por tanto, la prevención secundaria de la enfermedad antes y después de que se produzcan las fracturas, junto con un tratamiento eficaz y adecuado, es de suma importancia. Al mismo tiempo, predecir de manera precisa y eficiente el riesgo de FVO es de suma importancia para evitar fracturas de manera efectiva. Actualmente, existen varios modelos estadísticos clínicos y sistemas de puntuación que predicen el riesgo de FOV utilizando diferentes métodos. De cara al futuro, desde la perspectiva de la imagen radiológica, la radiómica, que implica la extracción y análisis de datos cuantitativos de imágenes médicas, se ha desarrollado y madurado continuamente en los últimos años.¹¹⁹⁻¹²¹ La integración de modelos radiómicos con el diagnóstico y la predicción de riesgos de diversas afecciones clínicas ha mostrado resultados diagnósticos y predictivos prometedores, además de valor clínico. La combinación de radiómica y predicción de riesgo de OVf podría proporcionar resultados satisfactorios e información valiosa en el futuro.¹²²⁻¹²⁴ En el futuro, para obtener una comprensión más completa de la OVf y prevenirla, sería beneficioso explorar e investigar más a fondo la relación entre la OVf y los músculos paraespinales mediante imágenes radiológicas. Aprovechando los modelos radiómicos basados en tomografía computarizada, resonancia magnética o imágenes de rayos X, es posible analizar las características radiómicas de los músculos paraespinales y lograr una predicción eficiente, no invasiva y precisa del riesgo de OVf. Además, la aplicación de nanomateriales en el tratamiento quirúrgico de la FVO ofrece muchas ventajas, como la inyectabilidad, la facilidad de manipulación y la rentabilidad. Permitiría a los pacientes recibir intervenciones clínicas oportunas y adecuadas, minimizando sus costos de salud, tiempo y económicos.

Declaración del autor de CRediT

haifeng hao: curación de datos, redacción, revisión y edición. **Cuifeng Liu:** conceptualización, investigación, metodología, administración de proyectos, supervisión. **Chang Liu:** visualización, redacción del borrador original, redacción-revisión y edición. **peihong teng:** datos curación, formal análisis, y investigación.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por la Fundación Médica Wu Jieping (Proyecto No. 320.6750.19089- 40; 320.6750.2022-11-50), Ciencia y Tecnología de la Provincia de Jilin. Tecnología Desarrollo Plan (Proyecto No. 20220203113SF), Estado Llave Laboratorio de Fondo de Proyecto Abierto de Química Electroanalítica (Proyecto No. SKLEAC202101).

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe ningún interés en competencia.

Referencias

- [1] DC Bauer. Aumento vertebral versus terapia no quirúrgica. *JAMA Medicina Interna*, 2013, 173(16): 1522. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.6760>
- [2] F. Kroon, M. Staples, PR Ebeling, et al. Resultados de dos años de un ensayo aleatorio controlado con placebo de vertebroplastia para fracturas vertebrales osteoporóticas agudas. *Revista de investigación de huesos y minerales*, 2014, 29(6): 1346-1355. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2157>
- [3] À.Martínez-Ferrer, J. Blasco, JL Carrasco, et al. Efecto de la vertebroplastia sobre el alivio del dolor, la calidad de vida y la incidencia de nuevas fracturas vertebrales. Un ensayo controlado, aleatorizado y de seguimiento de 12 meses. *Hueso*, 2012, 50(S1): S47. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2012.02.128>
- [4] C. Bouza, T. López-Cuadrado, N. Almendro, et al. Seguridad de la cifoplastia con balón en el tratamiento de fracturas vertebrales osteoporóticas por compresión en Europa: Un metanálisis de ensayos controlados aleatorios. *Revista europea de columna vertebral*, 2015, 24(4): 715-723. <https://doi.org/10.1007/s00586-014-3581-7>
- [5] JD Barr, ME Jensen, J. Hirsch, et al. Declaración de posición sobre el aumento vertebral percutáneo: una declaración de consenso desarrollada por la sociedad de radiología intervencionista (SIR), la asociación estadounidense de cirujanos neurológicos (AANS) y el congreso de cirujanos neurológicos (CNS), el colegio estadounidense de radiología (ACR), la sociedad estadounidense de neurorradiología (ASNR), sociedad estadounidense de radiología de columna (ASSR), asociación canadiense de radiología intervencionista (CIRA) y sociedad de cirugía neurointervencionista (SNIS). *Revista de radiología vascular e intervencionista*, 2014, 25(2): 171-181. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2013.10.001>
- [6] G.-L. Zhang. Varios problemas al percutáneo.

- vertebroplastia y cifoplastia con balón para el tratamiento de fracturas vertebrales osteoporóticas por compresión. *Revista China de Ortopedia y Traumatología*, 2021, 34(8): 691-693.<https://doi.org/10.12200/j.issn.1003-0034.2021.08.001>
- [7] X. Lin, D. Xiong, Y. Peng, et al. Epidemiología y tratamiento de la osteoporosis en la República Popular China: perspectivas actuales. *Intervenciones clínicas en el envejecimiento*, 2015, 1017-1033.<https://doi.org/10.2147/cia.s54613>
- [8] L. Si, TM Winzenberg, Q. Jiang, et al. Proyección de fracturas y costos relacionados con la osteoporosis en China: 2010-2050. *Osteoporosis Internacional*, 2015, 26(7): 1929-1937.<https://doi.org/10.1007/s00198-015-3093-2>
- [9] HK Genant, CY Wu, C. van Kuijk, et al. Evaluación de fracturas vertebrales mediante una técnica semicuantitativa. *Revista de investigación de huesos y minerales*, 1993, 8(9): 1137-1148.<https://doi.org/10.1002/jbmr.5650080915>
- [10] XW Li, CY Deng, GJ Zhou. Osteosarcopenia: interacciones músculo-hueso. *Revista china de investigación en ingeniería de tejidos*, 2022, 26(11): 1752-1757. (en chino)
- [11] SB, Zhang, SJ Wang, HW Xu, et al. Avances en la correlación entre la función de los músculos del tronco y las fracturas vertebrales osteoporóticas. *Revista de cirugía de columna*, 2021, 19(2): 126-129+144. (en chino)
- [12] H. Lin, ZJ Xie, M. Zhu. Regulación mutua de músculos y huesos. *Revista china de osteoporosis e investigación de minerales óseos*, 2016, 9(3): 236-239. (en chino)
- [13] L. Bonewald. Úselo o piérdalo con la edad: una revisión de la comunicación ósea y muscular. *Hueso*, 2019, 120: 212-218. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2018.11.002>
- [14] H. Lam, Y.-X. Qin. Los efectos de la estimulación muscular dinámica dependiente de la frecuencia sobre la inhibición de la pérdida ósea trabecular en un modelo en desuso. *Hueso*, 2008, 43(6): 1093-1100.<https://doi.org/10.1016/j.bone.2008.07.253>
- [15] SL Manske, SK Boyd, RF Zernicke. Las fuerzas de reacción vertical del suelo disminuyen en ratones después de la inyección de toxina botulínica. *Revista de biomecánica*, 2011, 44(4): 637-643.<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.11.011>
- [16] BK Pedersen. Músculos y sus mioquinas. *Revista de biología experimental*, 2011, 214(2): 337-346.<https://doi.org/10.1242/jeb.048074>
- [17] C. Tagliaferri, Y. Wittrant, MJ Davicco, et al. Músculo y hueso, dos tejidos interconectados. *Reseñas de investigaciones sobre el envejecimiento*, 2015, 21: 55-70.<https://doi.org/10.1016/j.arr.2015.03.002>
- [18] N. Kawao, H. Kaji. Interacciones entre los tejidos musculares y el metabolismo óseo. *Revista de bioquímica celular*, 2015, 116(5): 687-695.<https://doi.org/10.1002/jcb.25040>
- [19] B. Buehring, N. Binkley. Miostatina: el santo grial de los músculos, los huesos y la grasa. *Informes actuales sobre osteoporosis*, 2013, 11(4): 407-414.<https://doi.org/10.1007/s11914-013-0160-5>
- [20] BL Riggs, HW Wahner, LJ Melton, et al. Tasas de pérdida ósea en los esqueletos apendicular y axial de las mujeres. Evidencia de pérdida sustancial de hueso vertebral antes de la menopausia. *Revista de investigación clínica*, 1986, 77(5): 1487-1491.<https://doi.org/10.1172/jci112462>
- [21] G. Grimby, B. Saltin. El músculo que envejece. *Fisiología clínica*, 1983, 3(3): 209-218.<https://doi.org/10.1111/j.1475-097x.1983.tb00704.x>
- [22] QG Li, JM Sun, XG Cui, et al. Análisis de correlación entre la degeneración de los músculos paraespinales lumbares inferiores y la alineación espino pélvica en pacientes con fractura por compresión vertebral osteoporótica. *Revista de rehabilitación musculoesquelética y de espalda*, 2017, 30(6): 1209-1214.<https://doi.org/10.3233/bmr-150506>
- [23] M. Pfeifer, B. Begerow, H. Minne, et al. Vitamina D estado, fuerza de los músculos del tronco, balanceo del cuerpo, caídas y fracturas entre 237 mujeres posmenopáusicas con osteoporosis. *Endocrinología Experimental y Clínica & Diabetes*, 2001, 109(2): 87-92. <https://doi.org/10.1055/s-2001-14831>
- [24] G. Guilhem, C. Giroux, A. Couturier, et al. Validez de las mediciones de torque de extensores y flexores del tronco mediante dinamometría isocinética. *Revista de electromiografía y kinesiología*, 2014, 24(6): 986-993. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2014.07.006>
- [25] T. Bassani, G. Casaroli, F. Galbusera. Dependencia de las cargas lumbares de la alineación sagital espino pélvica: una evaluación basada en el modelado musculoesquelético. *Más uno*, 2019, 14(3): e0207997. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207997>
- [26] DH Kim, DH Choi, JH Park, et al. ¿Cuál es el efecto de los parámetros sagitales espino pélvicos y los músculos de la espalda sobre la fractura vertebral osteoporótica? *Diario de columna asiática*, 2015, 9(2): 162.<https://doi.org/10.4184/asj.2015.9.2.162>
- [27] JY Kim, SU Chae, GD Kim, et al. Cambios de los músculos paraespinales en fracturas por compresión de columna osteoporóticas posmenopáusicas: estudio de resonancia magnética. *Revista de metabolismo óseo*, 2013, 20(2): 75. <https://doi.org/10.11005/jbm.2013.20.2.75>
- [28] Problemas epidemiológicos y metodológicos en la determinación del estado nutricional de las personas mayores. Actas de una conferencia. Albuquerque, Nuevo México, 19 al 21 de octubre de 1988. *La revista americana de nutrición clínica*, 1989, 50 (5 suplementos): 1121-1235.
- [29] LM Cangussu-Oliveira, JM Porto, RC Freire Junior, et al. Asociación entre el desempeño de la función muscular del tronco y la presencia de fractura vertebral en mujeres mayores con baja masa ósea. *Investigación clínica y experimental sobre el envejecimiento*, 2020, 32(6): 1067-1076.<https://doi.org/10.1007/s40520-019-01296-2>
- [30] XP Wang. Estudio experimental sobre el efecto de la atrofia del músculo paravertebral sobre la masa ósea del cuerpo vertebral lumbar. Universidad Médica de Nanjing, 2016. (en chino)
- [31] Z. Zhou, L. Zheng, D. Wei, et al. Las mediciones de la fuerza muscular indican una pérdida de densidad mineral ósea en mujeres posmenopáusicas. *Intervenciones clínicas en el envejecimiento*, 2013, 2013: 1451-1459.<https://doi.org/10.2147/cia.s48447>
- [32] AM Briggs, AM Greig, KL Bennell, et al. Control de los músculos paraespinales en personas con fractura vertebral osteoporótica. *Revista europea de columna vertebral*, 2007, 16(8): 1137-1144.<https://doi.org/10.1007/s00586-006-0276-8>
- [33] RN Baumgartner, KM Koehler, D. Gallagher, et al. Epidemiología de la sarcopenia entre los ancianos en Nuevo México. *Revista americana de epidemiología*, 1998, 147(8): 755-763.<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a009520>
- [34] M. Tosato, E. Marzetti, M. Cesari, et al. Medición de la masa muscular en la sarcopenia: de la imagen a los marcadores bioquímicos. *Investigación clínica y experimental sobre el envejecimiento*, 2017, 29(1): 19-27.<https://doi.org/10.1007/s40520-016-0717-0>
- [35] G. Guglielmi, F. Ponti, M. Agostini, et al. El papel de la DXA en la sarcopenia. *Investigación clínica y experimental sobre el envejecimiento*, 2016, 28(6): 1047-1060.<https://doi.org/10.1007/s40520-016-0589-3>
- [36] QI Meng, S. Zhang, B. Liu. Importancia clínica y diagnóstico de la sarcopenia con TC y RM. *Revista china de osteoporosis*, 2018, 24(11): 1530-1534. (en chino)
- [37] EK Khil, JA Choi, E. Hwang, et al. Músculos paraespinales de la espalda en voluntarios asintomáticos: análisis cuantitativo y cualitativo mediante tomografía computarizada (TC) y resonancia magnética (MRI). *Trastornos musculoesqueléticos del BMC*, 2020, 21(1): 403.<https://doi.org/10.1186/s12891-020-03432-w>
- [38] RJ Crawford, L. Filli, JM Elliott, et al. Edad y nivel

- dependencia de la infiltración grasa en los músculos paravertebrales lumbares de voluntarios sanos. *Revista Americana de Neurorradiología*, 2016, 37(4): 742-748. <https://doi.org/10.3174/ajnr.a4596>
- [39] PJ Battaglia, Y. Maeda, A. Welk, et al. Fiabilidad de la clasificación de Goutallier en la cuantificación de la degeneración grasa muscular en el multífido lumbar mediante resonancia magnética. *Revista de terapéutica manipulativa y fisiológica*, 2014, 37(3): 190-197. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2013.12.010>
- [40] H. Bumann, C. Nüesch, S. Loske, et al. La gravedad de la estenosis espinal lumbar degenerativa afecta la rigidez pélvica al caminar. *El diario de la columna vertebral*, 2020, 20(1): 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2019.08.016>
- [41] B. Yanik, B. Keyik, I. Conkbayir. Degeneración grasa del músculo multífido en pacientes con dolor lumbar crónico y en voluntarios asintomáticos: cuantificación con resonancia magnética por desplazamiento químico. *Radiología esquelética*, 2013, 42(6): 771-778. <https://doi.org/10.1007/s00256-012-1545-8>
- [42] S.-J. Hyun, C.-W. Bae, S.-H. Lee, et al. Degeneración grasa del músculo paraespinal en pacientes con cifosis lumbar degenerativa: un nuevo método de evaluación de análisis digital cuantitativo mediante resonancia magnética y tomografía computarizada. *Cirugía clínica de columna*, 2016, 29(10): 441-447. <https://doi.org/10.1097/BSD.0b013e3182aa28b0>
- [43] CH McCollough, S. Leng, LF Yu, et al. TC de energía dual y múltiple: principios, enfoques técnicos y aplicaciones clínicas. *Radiología*, 2015, 276(3): 637-653. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015142631>
- [44] AM Baillargeon, FI Baffour, LF Yu, et al. Cuantificación de grasa de la musculatura del manguito rotador mediante TC de energía dual: un estudio piloto. *Revista Europea de Radiología*, 2020, 130: 109145. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109145>
- [45] MH Jiang, H. Xiong, MH Huang. Aplicación de la tecnología de la imagen en la osteoporosis. *Investigación y práctica clínica*, 2021, 6(31): 193-195. (en chino)
- [46] MC Erlandson, AL Lorbergs, S. Mathur, et al. Análisis muscular mediante pQCT, DXA y MRI. *Revista europea de radiología*, 2016, 85(8): 1505-1511. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.03.001>
- [47] k. Engelke. Cuantitativo calculado Tomografía: estado actual y nuevos desarrollos. *Revista de densitometría clínica*, 2017, 20(3): 309-321. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2017.06.017>
- [48] YQ Zuo, Q. Liu, ZH Gao, et al. Un estudio cuantitativo de la relación entre el músculo esquelético plano vertebral L3 y el grado de adiposidad y sarcopenia senil. *La revista de medicina práctica*, 2021, 37(11): 1470-1475. (en chino)
- [49] LL Wang, J. Liang. Avances de la investigación sobre el cribado y tratamiento de la sarcopenia. *Información sobre medicina más reciente del mundo*, 2019, 19(99): 108-110. (en chino)
- [50] JE Morley, AM Abbatecola, JM Argiles, et al. Sarcopenia con movilidad limitada: un consenso internacional. *Revista de la Asociación Estadounidense de Directores Médicos*, 2011, 12(6): 403-409. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2011.04.014>
- [51] TG Barbosa-Silva, MC González, RM Bielemann, et al. 2+2(+2)=4: Un nuevo enfoque para la evaluación de la masa muscular apendicular mediante ecografía. *Nutrición*, 2021, 83: 111056. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2020.111056>
- [52] H. Xu, J. Liu, X. Zhang, et al. Estimación de la masa del músculo esquelético mediante bioimpedancia y diferencias entre los índices de masa del músculo esquelético para evaluar la sarcopenia. *Nutrición Clínica*, 2021, 40(4): 2308-2318. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.10.021>
- [53] V. Chianca, D. Albano, C. Messina, et al. Sarcopenia: evaluación por imágenes y aplicación clínica. *Radiología Abdominal*, 2022, 47(9): 3205-3216. <https://doi.org/10.1007/s00261-021-03294-3>
- [54] D. Yoshida, T. Suzuki, H. Shimada, et al. usando dos diferentes algoritmos para determinar la prevalencia de sarcopenia. *Geriatría & Gerontología Internacional*, 2014, 14 (Suplemento 1): 46-51. <https://doi.org/10.1111/ggi.12210>
- [55] Y. Yamada, DA Schoeller, E. Nakamura, et al. El agua extracelular puede enmascarar la atrofia muscular real durante el envejecimiento. *Las revistas de gerontología Serie A: Ciencias Biológicas y Ciencias Médicas*, 2010, 65A(5): 510-516. <https://doi.org/10.1093/gerona/glq001>
- [56] AJ Kuchnia, Y. Yamada, L. Teigen, et al. La combinación de mediciones de composición corporal DXA y BIS está altamente correlacionada con la función física: un enfoque para mejorar la evaluación de la masa muscular. *Archivos de osteoporosis*, 2018, 13(1): 97. <https://doi.org/10.1007/s11657-018-0508-7>
- [57] RV Clark, AC Walker, RR Miller, et al. creatina (metilo-d3) dilución en orina para la estimación de la masa del músculo esquelético corporal total: precisión y variabilidad frente a MRI y DXA. *Revista de fisiología aplicada*, 2018, 124(1): 1-9. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00455.2016>
- [58] KA Duchowny, KE Peters, E., SR Cummings et al. Asociación del cambio en la masa muscular evaluada mediante dilución de creatina D3 con cambios en la fuerza de agarre y la velocidad al caminar. *Revista de caquexia, Sarcopenia y músculo*, 2020, 11(1): 55-61. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12494>
- [59] J. Zanker, S. Patel, T. Blackwell, et al. Velocidad de marcha y masa muscular estimadas por el D₃El método de dilución de creatina son componentes importantes de la sarcopenia asociada con la discapacidad de movilidad incidente en hombres mayores: una clasificación y un análisis de árbol de regresión. *Revista de la Asociación Estadounidense de Directores Médicos*, 2020, 21(12): 1997-2002.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2020.03.017>
- [60] Y. Ren, SP Chen, LH Zhou, et al. Prueba bioquímica más prometedora para la sarcopenia: dilución de D3-creatina. *Revista china sobre enfermedades multiorgánicas en personas mayores*, 2021, 20(5): 388-392. (en chino)
- [61] RW Haines, P. Zolfaghari, YZ Wan, et al. La relación elevada de urea a creatinina proporciona una firma bioquímica del catabolismo muscular y de una enfermedad crítica persistente después de un traumatismo importante. *Medicina de cuidados intensivos*, 2019, 45: 1718-1731. <https://doi.org/10.1007/s00134-019-05760-5>
- [62] KB Kashani, EN Frazee, L. Kukrálová, et al. Evaluación de la masa muscular mediante el uso de marcadores de función renal: Desarrollo del índice de sarcopenia. *Medicina de Terapia Intensiva*, 2017, 45(1): e23-e29. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000002013>
- [63] N. De Rekeneire, M. Visser, RT Peila, et al. ¿Es una caída solo una caída? Correlatos de caídas en personas mayores sanas. El estudio de la salud, el envejecimiento y la composición corporal. *Revista de la Sociedad Estadounidense de Geriatría*, 2003, 51(6): 841-846. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2003.51267.x>
- [64] TM Skerry. Carga mecánica y hueso: ¿Qué tipo de ejercicio es beneficioso para el esqueleto? *Hueso*, 1997, 20(3): 179-181. [https://doi.org/10.1016/S8756-3282\(96\)00387-0](https://doi.org/10.1016/S8756-3282(96)00387-0)
- [65] Ventilador LM. Un estudio sobre el método de evaluación de la resistencia muscular en personas de mediana edad y ancianos. Beijing Universidad del Deporte, 2015. (en chino)
- [66] HS Nam, DS Park, DH Kim y otros. La relación entre la fatiga muscular y el equilibrio en las personas mayores. *Anales de la medicina de rehabilitación*, 2013, 37(3): 389-395. <https://doi.org/10.5535/arm.2013.37.3.389>
- [67] Wang Jian. Algunos avances en la investigación del análisis de señales sEMG y su aplicación, China Sport Science, 2000, 20 (4): 56-60. (en chino)
- [68] RS Taipale, J. Mikkola, V. Vesterinen, et al. Adaptaciones neuromusculares durante el entrenamiento combinado de fuerza y resistencia en corredores de resistencia: entrenamiento de fuerza máxima versus entrenamiento de fuerza explosiva o una combinación de ambos.

- Revista Europea de Fisiología Aplicada*, 2013, 113(2): 325-335.<https://doi.org/10.1007/s00421-012-2440-7>
- [69] T. Alkjær, EB Simonsen, SP Magnusson, et al. El momento del músculo antagonista aumenta en sujetos con deficiencia del LCA durante la extensión dinámica máxima de la rodilla. *La rodilla*, 2012, 19(5): 633-639.<https://doi.org/10.1016/j.knee.2011.12.006>
- [70] MT Ren, L. Yang, JQ Yao. Avances de la investigación sobre la aplicación del entrenamiento de resistencia progresiva en pacientes con sarcopenia senil. *Revista de la Universidad Médica de Mudanjiang*, 2023, 44(2): 152-155. (en chino)
- [71] T. Lichtenberg, S. von Stengel, C. Sieber, et al. Los efectos favorables de un entrenamiento de resistencia de alta intensidad sobre la sarcopenia en hombres mayores con osteosarcopenia que viven en la comunidad: el estudio FROST, aleatorizado y controlado. *Intervenciones clínicas en el envejecimiento*, 2019, 14: 2173-2186 .<https://doi.org/10.2147/CIA.S225618>
- [72] M. Tieland, ML Dirks, N. van der Zwaluw, et al. La suplementación con proteínas aumenta la ganancia de masa muscular durante el entrenamiento prolongado de ejercicios de resistencia en personas mayores frágiles: un ensayo aleatorizado, doble ciego y controlado con placebo. *Revista de la Asociación Estadounidense de Directores Médicos*, 2012, 13(8): 713-719.<https://doi.org/10.1016/j.jamda.2012.05.020>
- [73] AL Yang, QQ Lv, F. Chen, et al. El efecto de la vitamina D sobre la sarcopenia depende del nivel de actividad física de los adultos mayores. *Revista de caquexia, Sarcopenia y músculo*, 2020, 11(3): 678-689.<https://doi.org/10.1002/jcsm.12545>
- [74] BX Liu, C. Hu, X. Wang, et al. Asociación entre lumbalgia crónica y sarcopenia y vitamina D en población anciana. *La revista de cervicodinia y lumbodinia*, 2022, 62(27): 876-878. (en chino)
- [75] LS Bislev, D. Grove-Laugesen, L. Rejnmark. La vitamina D y la salud muscular: una revisión sistemática y un metaanálisis de ensayos aleatorios controlados con placebo. *Revista de la Sociedad Endocrina*, 2021, 5(Suplemento_1): A281.<https://doi.org/10.1210/jendso/bvab048.571>
- [76] J. Zhang, WX Li. Avances en el uso de la farmacoterapia para la sarcopenia. *Revista médica de Shandong*, 2022, 62(27): 92-97. (en chino).
- [77] A. Bartke. Hormona del crecimiento y envejecimiento: revisión actualizada. *La revista mundial de los hombres's salud*, 2019, 37(1): 19.<https://doi.org/10.5534/wjmh.180018>
- [78] HK White, CD Petrie, W. Landschulz y col. Efectos de un secretagogo de la hormona del crecimiento oral en adultos mayores. *La revista de endocrinología clínica&Metabolismo*, 2009, 94(4): 1198-1206.<https://doi.org/10.1210/jc.2008-0632>
- [79] C. Camila, B. Patrícia, S. Perry Ingrid, et al. Suplementación de testosterona sobre los componentes de la sarcopenia en pacientes crónicos: una revisión sistemática y un metaanálisis. *Diseño farmacéutico actual*, 2021, 28(7): 5 8 6 - 5 9 4 .<https://doi.org/10.2174/138161282766621115155541>
- [80] JP Dias, JD Veldhuis, O. Carlson, et al. Efectos del gel transdérmico de testosterona o un inhibidor de la aromatasa sobre la concentración sérica y la pulsatilidad de la hormona del crecimiento en hombres mayores con niveles bajos de testosterona relacionados con la edad. *Metabolismo*, 2017, 69: 143-147.<https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.025>
- [81] JL Dong, YJ Dong, YL Dong, et al. La inhibición de la miostatina en ratones mejora la sensibilidad a la insulina a través de la comunicación cruzada mediada por el iris entre los tejidos musculares y adiposos. *Revista Internacional de Obesidad*, 2016, 40: 434-442.<https://doi.org/10.1038/ijo.2015.200>
- [82] C. Becker, SR Señor, SA Studenski, et al. Anticuerpo miostatina (LY2495655) en personas mayores con caídas débiles: un ensayo de fase 2, aleatorizado, de prueba de concepto. *La Diabetes Lanceta & Endocrinología*, 2015, 3(12): 948-957.[https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(15\)00298-3](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(15)00298-3)
- [83] H. Collins-Hooper, R. Sartori, R. Macharia, et al. La inhibición de la miostatina mediada por propéptidos aumenta la masa muscular mediante la inhibición de las vías proteolíticas en ratones de edad avanzada. *Las revistas de gerontología Serie A: Ciencias Biológicas y Ciencias Médicas*, 2014, 69(9): 1049-1059.<https://doi.org/10.1093/gerona/glt170>
- [84] DJ Peña, M. Denise, S. Michelle, et al. Efectos del gel transdérmico de testosterona o un inhibidor de la aromatasa sobre el volumen de la próstata en hombres mayores. *La Revista de Endocrinología Clínica y Metabolismo*, 2016, 101(4): 1865-1871.<https://doi.org/10.1210/jc.2016-1111>
- [85] Y. Muta, T. Tanaka, Y. Hamaguchi, et al. Modulador selectivo del receptor de andrógenos, S42, tiene efectos anabólicos y anticatabólicos en miotubos cultivados. *Informes de Bioquímica y Biofísica*, 2019, 17: 177-181.<https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2019.01.006>
- [86] M. Morimoto, M. Yamaoka, T. Hara. Un modulador selectivo del receptor de andrógenos, SARM-2f, activa el receptor de andrógenos, aumenta la masa corporal magra y suprime los niveles de lípidos en sangre en monos cynomolgus. *Investigación farmacológica&Perspectivas*, 2020, 8(1): e00563.<https://doi.org/10.1002/prp2.563>
- [87] JA Batsis, DT Villareal. Obesidad sarcopénica en adultos mayores: etiología, epidemiología y estrategias de tratamiento. *Reseñas de la naturaleza Endocrinología*, 2018, 14(9): 513-537.<https://doi.org/10.1038/s41574-018-0062-9>
- [88] JT Dalton, KG Barnette, CE Bohl y otros. El modulador selectivo del receptor de andrógenos GTX-024 (enobosarm) mejora la masa corporal magra y la función física en hombres ancianos sanos y mujeres posmenopáusicas: resultados de un ensayo de fase II doble ciego controlado con placebo. *Revista de caquexia, Sarcopenia y músculo*, 2011, 2(3): 153-161.<https://doi.org/10.1007/s13539-011-0034-6>
- [89] R. Kjøbsted, JR Hingst, J. Fentz, et al. AMPK en la función y el metabolismo del músculo esquelético. *La revista FASEB*, 2018, 32(4): 1741-1777.<https://doi.org/10.1096/fj.201700442r>
- [90] G. Kanigur Sultuybek, T. Soydas, G. Yenmis. NF-κB como mediador del efecto de la metformina sobre el envejecimiento y las enfermedades relacionadas con el envejecimiento. *Farmacología y fisiología clínica y experimental*, 2019, 46(5): 413-422.<https://doi.org/10.1111/1440-1681.13073>
- [91] N. Musi, MF Hirshman, J. Nygren y col. La metformina aumenta la actividad de la proteína quinasa activada por AMP en el músculo esquelético de sujetos con diabetes tipo 2. *Diabetes*, 2002, 51(7): 2074-2081.<https://doi.org/10.2337/diabetes.51.7.2074>
- [92] DE Long, BD Peck, JL Martz, et al. Metformina para aumentar la respuesta efectiva del entrenamiento de fuerza en personas mayores (MASTERS): protocolo de estudio para un ensayo controlado aleatorio. *Ensayos*, 2017, 18: 192.<https://doi.org/10.1186/s13063-017-1932-5>
- [93] YH Wu, JF Zhang, W. He, et al. Nanomateriales para combatir la enfermedad hepática: avances de la investigación y perspectivas futuras. *Nano Biomedicina e Ingeniería*, 2023, 15(2): 199-224.<https://doi.org/10.26599/NBE.2023.9290024>
- [94] M. Filippi, G. Born, D. Felder-Flesch, et al. Uso de nanopartículas en ingeniería y regeneración de tejido esquelético. *Histología e histopatología*, 2019, 35(4): 331-350.<https://doi.org/10.14670/HH-18-184>
- [95] KH Min, HJ Lee, SC Lee, et al. Nanopartículas híbridas biomineralizadas para imágenes y terapia de cánceres. *Imagen cuantitativa en medicina y cirugía*, 2018, 8(7): 694-708.<https://doi.org/10.21037/qims.2018.08.04>
- [96] PL Wang, HD Lin. Avances de la investigación de nanomateriales en el tratamiento de la osteomielitis. *Revista china de cirugía reparadora y reconstructiva*, 2021, 35(5): 648-655. (en chino)
- [97] Y. Qian, QX Han, W. Chen, et al. Los factores de crecimiento derivados del plasma rico en plaquetas contribuyen a la diferenciación de las células madre en la regeneración musculoesquelética.

- Fronteras de la química*, 2017, 5: 89.<https://doi.org/10.3389/fchem.2017.00089>
- [98] YC Wang, MR Newman, M. Ackun-Farmmer, et al. Administración de agonistas de β -catenina dirigida a fracturas a través de Las nanopartículas funcionalizadas con péptidos aumentan la curación de fracturas. *ACS Nano*, 2017, 11(9): 9445-9458 .<https://doi.org/10.1021/acsnano.7b05103>
- [99] P. Lavrador, VM Gaspar, JF Mano. Nanoportadores que responden a estímulos para la administración de terapias óseas: barreras y avances. *Diario de Liberación Controlada*, 2018, 273: 51-67.<https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2018.01.021>
- [100] SH Wang, JH Qiu, AY Guo, et al. El perfluorocarbono a nanoescala acelera la curación de fracturas óseas mediante la activación selectiva de la diferenciación y las funciones osteoblásticas. *Revista de nanobiotecnología*, 2020, 18(1): 84.<https://doi.org/10.1186/s12951-020-00641-2>
- [101] LN Liu, P. Hu, Y. Liu, et al. Los ácidos nucleicos de la estructura tetraédrica promueven la reparación de fracturas osteoporóticas seniles al mejorar la osteogénesis y la angiogénesis del callo. *Materiales aplicados ACS&Interfaces*, 2023, 15(21): 25403-25416 .<https://doi.org/10.1021/acami.3c03569>
- [102] G. Marcucci, ML Brandi. Cifoplastia y vertebroplastia en el tratamiento de la osteoporosis con fracturas por compresión vertebral posteriores. *Casos Clínicos en Metabolismo Mineral y Óseo*, 2010, 7(1): 51-60.
- [103] M. Arora, EKS Chan, S. Gupta y otros. Cementos óseos y aditivos de polimetilmetacrilato: una revisión de la literatura. *Revista mundial de ortopedia*, 2013, 4(2): 67. <https://doi.org/10.5312/wjo.v4.i2.67>
- [104] SM Barinov, VS Komlev. Cementos óseos de fosfato de calcio. *Materiales inorgánicos*, 2011, 47(13): 1470-1485. <https://doi.org/10.1134/s0020168511130024>
- [105] CL Nelson, SG McLaren, RA Skinner y otros. El tratamiento de la osteomielitis experimental mediante desbridamiento quirúrgico y la implantación de gránulos de tobramicina de sulfato de calcio. *Revista de investigación ortopédica*, 2002, 20(4): 643-647.[https://doi.org/10.1016/S0736-0266\(01\)00133-4](https://doi.org/10.1016/S0736-0266(01)00133-4)
- [106] MJ Glimcher. La naturaleza del componente mineral del hueso y el mecanismo de calcificación. *Conferencias del curso de instrucción*, 1987, 36: 49.
- [107] A. Ricker, P. Liu-Snyder, TJ Webster. La influencia del nano MgO y BaSO₄. Aditivos de tamaño de partículas sobre las propiedades del cemento óseo de PMMA. *Revista Internacional de Nanomedicina*, 2008, 3(1): 125-132. <https://doi.org/10.2147/IJN.S2322>
- [108] A. Boger, M. Bohner, P. Heini, et al. Propiedades de un cemento óseo de PMMA de bajo módulo inyectable para hueso osteoporótico. *Revista de investigación de materiales biomédicos Parte B: Biomateriales Aplicados*, 2008, 86B(2): 474-482.<https://doi.org/10.1002/jbm.b.31044>
- [109] KL Low, SH Tan, SHS Zein y otros. Optimización de las propiedades mecánicas de compuestos de fosfato cálcico/nanotubos de carbono de paredes múltiples/albumina sérica bovina utilizando metodología de superficie de respuesta. *Materiales&Diseño*, 2011, 32(6): 3312-3319 . <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.02.022>
- [110] RA Pérez, KD Patel, HW Kim. Nuevos inyectables de nanocompuestos magnéticos: cementos de fosfato de calcio impregnados con nanopartículas magnéticas ultrafinas para la regeneración ósea. *Avances de RSC*, 2015, 5(18): 13411-13419 .<https://doi.org/10.1039/c4ra12640h>
- [111] A. El-Fiqi, JH Kim, RA Pérez, et al. Nuevas formulaciones de cementos nanocompuestos bioactivos con propiedades potenciales: incorporación de la forma de nanopartículas de vidrio bioactivo mesoporoso en cementos de fosfato de calcio. *Revista de Química de Materiales B*, 2015, 3(7): 1321-1334.<https://doi.org/10.1039/c4tb01634c>
- [112] MP Ginebra, M. Español, EB Montúfar, et al. Nuevos enfoques de procesamiento en cementos de fosfato de calcio y sus aplicaciones en medicina regenerativa. *Acta Biomaterialia*, 2010, 6(8): 2863-2873 .<https://doi.org/10.1016/j.actbio.2010.01.036>
- [113] C. Canal, diputado Ginebra. Cementos de fosfato cálcico reforzados con fibra: una revisión. *Revista del comportamiento mecánico de materiales biomédicos*, 2011, 4(8): 1658-1671.<https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2011.06.023>
- [114] S. Hesaraki, F. Moztarzadeh, R. Nemati, et al. Preparación y caracterización de nanocompuestos de sulfato de calcio y apatita biomimética para la liberación controlada de antibióticos. *Revista de investigación de materiales biomédicos Parte B: Biomateriales Aplicados*, 2009, 91B(2): 651-661.<https://doi.org/10.1002/jbm.b.31441>
- [115] X. Liu, XM Wang, ZG Chen, et al. Cemento óseo inyectable a base de colágeno mineralizado. *Revista de investigación de materiales biomédicos Parte B: Biomateriales aplicados*, 2010, 94B(1): 72-79.<https://doi.org/10.1002/jbm.b.31625>
- [116] SB Campbell, M. Patenaude, T. Hoare. Superparamagnetos inyectables: Poli (altamente elástico y degradable) nortoisopropilacrilamida): hidrogeles compuestos de nanopartículas superparamagnéticas de óxido de hierro (SPION). *Biomacromoléculas*, 2013, 14(3): 644-653.<https://doi.org/10.1021/bm301703x>
- [117] YM Kolambkar, KM Dupont, JD Boerckel, et al. Un sistema híbrido a base de alginato para la administración de factor de crecimiento en la reparación funcional de grandes defectos óseos. *Biomateriales*, 2011, 32(1): 65-74.<https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2010.08.074>
- [118] Grupo de trabajo de OSHK para la formulación de la Guía OSHK de 2013 para el tratamiento clínico de la osteoporosis posmenopáusica en Hong Kong, T.-P. Ip, S.-KW Cheung, et al. Sociedad de Osteoporosis de Hong Kong (OSHK): Guía de OSHK de 2013 para el tratamiento clínico de la osteoporosis posmenopáusica en Hong Kong. *Revista médica de Hong Kong*, 2013, 19 (Suplemento 2): 1-40.
- [119] QY Fu, K. Sun, FH Yan. Descripción general de la radiómica basada en resonancia magnética en el cáncer de mama. *Revista china de imágenes por resonancia magnética*, 2023, 14(4): 166-170+187. (en chino)
- [120] M. Huang, QM Xu, M. Zhou, et al. Distinguir múltiples cánceres de pulmón primarios de metástasis intrapulmonares mediante radiómica basada en TC. *Revista europea de radiología*, 2023, 160: 110671.<https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2022.110671>
- [121] Z] Wang, GJ Yang, XN Wang, et al. Un modelo combinado basado en radiómica de TC y variables clínicas para predecir cálculos de ácido úrico que tienen una buena precisión. *Urolitiasis*, 2023, 51: 37.<https://doi.org/10.1007/s00240-023-01405-x>
- [122] YZ, Zhang, Q. Zhao, J. Wen. Nomograma radiómico de TC esplénica que predice el riesgo de hemorragia gastrointestinal superior en la cirrosis. *Revista de investigación en radiación y ciencias aplicadas*, 2023, 16(1): 100486.<https://doi.org/10.1016/j.jrras.2022.100486>
- [123] QH He, JJ Feng, FJ Lv, Q. Jiang, et al. Clasificador de conjunto de combinación basado en características radiómicas y aprendizaje profundo para la predicción del riesgo de malignidad en lesiones renales quísticas. *Información sobre imágenes*, 2023, 14: 6.<https://doi.org/10.1186/s13244-022-01349-7>
- [124] Q. Li, SX Lin, SX Zhong, et al. El valor del nomograma radiómico de TC para predecir la recurrencia del cáncer de ovario. (INVÁLIDO)

© El autor(es) 2024. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite al autor y la fuente originales.