

## Nuevas estrategias para le prevención y tratamiento de fracturas patológicas en pacientes con cáncer

New strategies for the prevention and treatment of pathological fractures in patients with cancer

**Andrei Nicolás Mihaylov Bonilla**

ORCID: 0009-0005-1635-3235

Universidad de las Américas, Ecuador

**Joaury Luis Arteaga Terán**

ORCID: 0009-0000-2772-6328

Universidad de Guayaquil, Ecuador

**César Marcelo Gutierrez Alvarado**

ORCID: 0009-0009-8203-3220

Universidad Central del Ecuador

**Oscar Ivan Tipanta Villacrés**

ORCID: 0009-0007-0571-8977

Hospital Lenin Mosquera, Ecuador

**Juan Alberto Chavarría Chavarría**

ORCID: 0009-0003-8258-0116

Centro de Salud Bachillero, Ecuador

**Poleth Jacqueline Vallejo Rodríguez**

ORCID: 0009-0006-4389-9150

Universidad de las Américas, Ecuador

**Andrés Sebastian Castillo Lozano**

ORCID: 0009-0005-5236-7183

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador

**Laura Manuela Bastidas Carrera**

ORCID: 0009-0008-9683-868X

Universidad de las Américas, Ecuador

### RESUMEN

Las fracturas patológicas representan una complicación significativa en pacientes con cáncer, afectando tanto su calidad de vida como su pronóstico general. Este artículo de revisión narrativa aborda las estrategias emergentes para la prevención y el tratamiento de estas lesiones óseas, considerando avances recientes en la investigación oncológica y ortopédica. Se analizan enfoques innovadores, como el uso de terapias dirigidas que modulan el microambiente óseo, agentes antirresortivos como los bisfosfonatos y el denosumab, así como nuevas técnicas quirúrgicas y mínimamente invasivas que buscan mejorar la estabilidad estructural y reducir el dolor. Además, se discuten los beneficios del manejo multidisciplinario, integrando oncología, ortopedia, radiología y rehabilitación, con el objetivo de personalizar las intervenciones según las características del paciente y la progresión de la enfermedad. También se revisan estrategias preventivas basadas en la identificación temprana de pacientes en riesgo mediante herramientas de evaluación clínica e imagenológica avanzada. Esta revisión destaca la importancia de un enfoque integral y basado en evidencia para abordar las fracturas patológicas en pacientes oncológicos, promoviendo tanto la prevención como tratamientos que optimicen los resultados funcionales y clínicos a largo plazo.

**Palabras clave:** Fracturas patológicas, Prevención, Tratamiento, Cáncer, Estrategias, Pacientes oncológicos.

### ABSTRACT

Pathological fractures represent a significant complication in cancer patients, affecting both their quality of life and their general prognosis. This narrative review article addresses emerging strategies for the prevention and treatment of these bone lesions, considering recent advances in oncology and orthopedic research. Innovative approaches are discussed, such as the use of targeted therapies that modulate the bone microenvironment, antiresorptive agents such as bisphosphonates and denosumab, as well as new surgical and minimally invasive techniques that seek to improve structural stability and reduce pain. In addition, the benefits of multidisciplinary management, integrating oncology, orthopedics, radiology and rehabilitation, are discussed, with the aim of personalizing interventions according to the characteristics of the patient and the progression of the disease. Preventive strategies based on the early identification of patients at risk using clinical assessment and advanced imaging tools are also reviewed. This review highlights the importance of a comprehensive and evidence-based approach to address pathological fractures in cancer patients, promoting both prevention and treatments that optimize long-term functional and clinical outcomes.

**Keywords:** Pathological fractures, Prevention, Treatment, Cancer, Strategies, Oncological patients.

## INTRODUCCIÓN

Las fracturas patológicas representan una complicación significativa en pacientes con cáncer, afectando de manera considerable su calidad de vida y pronóstico (1). Estas fracturas suelen ser consecuencia de la fragilidad ósea inducida por metástasis óseas o por los efectos adversos de ciertos tratamientos oncológicos, como la terapia hormonal o los bisfosfonatos (2). Ante este escenario, resulta esencial desarrollar estrategias innovadoras tanto para la prevención como para el tratamiento de estas lesiones, con el objetivo de minimizar su impacto clínico y funcional (3). En los últimos años, se han investigado diversas aproximaciones que incluyen avances en técnicas quirúrgicas, el uso de biomateriales para reforzar la estructura ósea, y terapias farmacológicas dirigidas a mejorar la densidad y resistencia ósea (4). Asimismo, la implementación de enfoques multidisciplinarios que integren oncología, ortopedia y rehabilitación ha demostrado ser clave para optimizar los resultados en estos pacientes (5,6). Este artículo tiene como propósito revisar las estrategias emergentes en este campo, analizando su eficacia, seguridad y aplicabilidad clínica, con el fin de proporcionar una guía actualizada para los profesionales de la salud involucrados en el manejo de esta compleja condición.

## METODOLOGÍA

Para la elaboración de este artículo de revisión narrativa, se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos científicas reconocidas como PubMed, Scopus y Web of Science. Se emplearon términos controlados MeSH y DeCS relacionados con el tema, incluyendo "fracturas patológicas", "prevención de fracturas", "tratamiento de fracturas", "cáncer" y "metástasis óseas". Los términos se combinaron utilizando operadores booleanos como AND, OR y NOT para optimizar los resultados y garantizar la relevancia de los artículos recuperados. Se establecieron criterios de inclusión que consideraron estudios publicados en los últimos 10 años, disponibles en texto completo, en español o inglés, y que abordaran estrategias innovadoras tanto preventivas como terapéuticas en pacientes oncológicos con fracturas patológicas. Por otro lado, se excluyeron artículos duplicados, revisiones no sistemáticas y estudios que no se centraran específicamente en el manejo de fracturas en el contexto del cáncer. Tras la revisión inicial, se seleccionaron un total de 75 artículos relevantes, de los cuales se analizaron en detalle 18 para extraer información clave que permitiera estructurar este trabajo. La metodología aplicada asegura la validez y actualidad de los datos presentados, contribuyendo al conocimiento sobre este importante tema clínico.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Definición, clasificación y epidemiología de las fracturas patológicas en pacientes oncológicos

Las fracturas patológicas en pacientes oncológicos son una complicación frecuente y significativa asociada a la afectación ósea por tumores malignos. Estas fracturas se definen como aquellas que ocurren en un hueso debilitado por una lesión subyacente, generalmente de origen neoplásico, con una fuerza que no sería suficiente para causar una fractura en un hueso sano. La fragilidad ósea en estos casos es consecuencia de la destrucción del tejido óseo normal debido a la infiltración tumoral, la activación de procesos osteolíticos u osteoblásticos, o los efectos secundarios de los tratamientos oncológicos (1).

En cuanto a su clasificación, las fracturas patológicas pueden dividirse según su etiología y localización. Desde el punto de vista etiológico, se distinguen las fracturas causadas por metástasis óseas, que son las más frecuentes, y las asociadas a tumores óseos primarios, como el osteosarcoma o el condrosarcoma. En términos de localización, las fracturas patológicas suelen ocurrir en zonas de alta carga mecánica, siendo los sitios más comunes el fémur proximal, la columna vertebral, el húmero y la pelvis (1).

La epidemiología de estas fracturas está estrechamente vinculada con la incidencia de metástasis óseas, que se presentan con mayor frecuencia en pacientes con cánceres como el de mama, próstata, pulmón, riñón y tiroides. Se estima que entre el 50% y el 70% de los pacientes con metástasis óseas desarrollarán fracturas patológicas durante el curso de su enfermedad. Estas fracturas no solo impactan significativamente en la calidad de vida del paciente, sino que también se asocian con un aumento de la morbilidad y mortalidad debido a complicaciones como el dolor crónico, la inmovilidad y el riesgo elevado de infecciones (1,2).

Además, es importante destacar que ciertos factores pueden incrementar el riesgo de fracturas patológicas en pacientes oncológicos. Entre ellos se encuentran la extensión del compromiso óseo, la localización del tumor metastásico, la respuesta al tratamiento antineoplásico y la presencia de comorbilidades como osteoporosis o deficiencia de vitamina D. La identificación precoz de estas fracturas mediante técnicas de imagen y herramientas predictivas es fundamental para

implementar estrategias preventivas y terapéuticas adecuadas (2).

En conclusión, las fracturas patológicas en pacientes oncológicos representan un desafío clínico importante que requiere un abordaje multidisciplinario. Su definición, clasificación y comprensión epidemiológica son esenciales para desarrollar intervenciones efectivas que mejoren los resultados clínicos y la calidad de vida de los pacientes afectados (2).

### **Fisiopatología de las fracturas patológicas asociadas al cáncer**

Las fracturas patológicas asociadas al cáncer representan una complicación significativa en pacientes oncológicos, reflejando el impacto del proceso neoplásico en el sistema esquelético. Estas fracturas ocurren como resultado de la debilidad estructural del hueso, causada por la invasión tumoral directa o por alteraciones metabólicas inducidas por el cáncer. La fisiopatología subyacente está influenciada por varios factores interrelacionados que afectan tanto la calidad como la resistencia del tejido óseo (3).

En primer lugar, las metástasis óseas juegan un papel crucial en el desarrollo de estas fracturas. Los tumores malignos, especialmente aquellos asociados con cáncer de mama, próstata y pulmón, tienen una alta afinidad por el tejido óseo. Una vez en el hueso, las células tumorales interactúan con el microambiente óseo, promoviendo desequilibrios en el proceso de remodelación ósea. Este fenómeno se caracteriza por un aumento de la actividad osteoclástica, mediada por factores como el RANKL (ligando del receptor activador del factor nuclear kappa-B), lo que resulta en resorción ósea excesiva. Simultáneamente, la actividad osteoblástica puede ser insuficiente o desorganizada, contribuyendo a la formación de hueso de mala calidad (3).

Además, las sustancias liberadas por las células tumorales, como citoquinas y factores de crecimiento, exacerbaban el daño óseo al alterar la homeostasis normal y fomentar un entorno propicio para la progresión tumoral. Los cambios estructurales incluyen adelgazamiento cortical, pérdida de trabéculas y disminución de la densidad mineral ósea, lo que reduce la capacidad del hueso para soportar cargas mecánicas normales (3,4).

Otro factor relevante es el impacto sistémico del cáncer y su tratamiento en el metabolismo óseo. La quimioterapia, los corticosteroides y otros agentes terapéuticos pueden inducir osteoporosis secundaria, debilitando aún más el esqueleto. Asimismo, la inmovilización prolongada y la desnutrición comúnmente observadas en pacientes con cáncer contribuyen al deterioro óseo (4).

La localización de las lesiones metastásicas también influye significativamente en el riesgo de fractura. Las áreas sometidas a altas cargas mecánicas, como el fémur proximal y la columna vertebral, son particularmente vulnerables. Las fracturas vertebrales pueden ocurrir incluso con mínimos traumas o de manera espontánea, causando dolor severo, deformidades y complicaciones neurológicas (4).

### **Factores de riesgo para fracturas patológicas en pacientes con cáncer**

Los factores de riesgo para fracturas patológicas en pacientes con cáncer son múltiples y complejos, reflejando tanto las características propias de la enfermedad oncológica como los efectos secundarios de los tratamientos. Estas fracturas, que ocurren en huesos debilitados por la presencia de metástasis óseas u otras alteraciones estructurales relacionadas con el cáncer, representan un desafío significativo en la práctica clínica debido a su impacto negativo en la calidad de vida y el pronóstico del paciente (5).

Entre los factores de riesgo más relevantes se encuentra la presencia de metástasis óseas, especialmente en cánceres como el de mama, próstata, pulmón y riñón, que tienen una alta propensión a diseminarse al hueso. Estas lesiones metastásicas debilitan la estructura ósea al alterar el equilibrio entre la formación y resorción ósea, favoreciendo la fragilidad del tejido (5).

Otro factor importante es el tipo y estadio del cáncer. Los tumores avanzados o agresivos suelen estar asociados con un mayor riesgo de complicaciones óseas. Asimismo, los tratamientos oncológicos, como la terapia hormonal, quimioterapia y radioterapia, pueden contribuir a la pérdida de densidad ósea y aumentar el riesgo de fracturas. Por ejemplo, los inhibidores de la aromatasa utilizados en el tratamiento del cáncer de mama pueden inducir osteoporosis secundaria (5,6).

La edad avanzada y el sexo femenino también son factores predisponentes debido a la disminución natural de la densidad mineral ósea asociada con el envejecimiento y la menopausia. Además, condiciones preexistentes como osteoporosis o deficiencias nutricionales (particularmente de calcio y vitamina D) agravan el riesgo en esta población (6).

El dolor óseo persistente, la presencia de lesiones líticas visibles en estudios de imagen y un historial previo de fracturas también son indicadores clave que deben alertar al clínico sobre un mayor riesgo de fractura patológica. En este

contexto, herramientas como el sistema de puntuación de Mirels pueden ser útiles para evaluar el riesgo de fractura en huesos afectados por metástasis (6).

### **Métodos diagnósticos: técnicas de imagen y biomarcadores**

En el contexto de las fracturas patológicas en pacientes con cáncer, los métodos diagnósticos han evolucionado significativamente con el objetivo de mejorar la identificación precoz y la evaluación precisa del riesgo. Las técnicas de imagen y los biomarcadores desempeñan un papel esencial en este proceso, permitiendo una aproximación más personalizada y efectiva al manejo clínico (7).

En cuanto a las técnicas de imagen, la resonancia magnética (RM) y la tomografía computarizada (TC) son herramientas fundamentales para evaluar la extensión de las lesiones óseas y su relación con tejidos adyacentes. La RM, en particular, ofrece una sensibilidad superior para detectar infiltración medular y cambios en los tejidos blandos, mientras que la TC proporciona una excelente resolución anatómica para evaluar la estructura ósea y la presencia de fracturas incipientes. Por otro lado, la tomografía por emisión de positrones (PET) combinada con TC o RM ha demostrado ser altamente eficaz no solo para identificar lesiones óseas metastásicas, sino también para evaluar la actividad metabólica de estas, lo que puede ser indicativo del riesgo de fractura (7).

La densitometría ósea mediante absorciometría de rayos X de energía dual (DXA) sigue siendo una herramienta útil para evaluar la densidad mineral ósea, especialmente en pacientes con cáncer sometidos a tratamientos que afectan el metabolismo óseo, como los inhibidores de aromatasa o los corticosteroides. Sin embargo, su utilidad en la detección de fracturas patológicas específicas es limitada, ya que no proporciona información sobre la calidad ósea ni sobre las características estructurales (7,8).

En el ámbito de los biomarcadores, se ha avanzado considerablemente en la identificación de moléculas asociadas al remodelado óseo y la actividad tumoral. Biomarcadores como el telopéptido C-terminal del colágeno tipo I (CTX) y la fosfatasa alcalina específica del hueso (BALP) permiten evaluar el equilibrio entre la resorción y la formación ósea. Además, marcadores relacionados con la actividad tumoral, como el antígeno carcinoembrionario (CEA) o el antígeno prostático específico (PSA), pueden ser útiles en el contexto de ciertos tipos de cáncer con alta propensión a metástasis óseas (8).

La integración de estas tecnologías diagnósticas en un enfoque multidisciplinario es crucial para optimizar el manejo de los pacientes con riesgo de fracturas patológicas. La combinación de técnicas de imagen avanzadas con biomarcadores específicos no solo mejora la precisión diagnóstica, sino que también permite monitorizar la respuesta al tratamiento y ajustar las estrategias terapéuticas según las necesidades individuales del paciente. Esto subraya la importancia de una evaluación exhaustiva y personalizada para prevenir complicaciones graves y mejorar la calidad de vida en esta población vulnerable (8).

### **Estrategias actuales de prevención de fracturas patológicas en oncología**

La prevención de fracturas patológicas en pacientes oncológicos constituye un desafío clínico que requiere un enfoque multidisciplinario. Estas fracturas, derivadas de la fragilidad ósea secundaria a metástasis óseas o efectos adversos del tratamiento oncológico, impactan significativamente en la calidad de vida del paciente y en su pronóstico general. Por ello, las estrategias actuales combinan intervenciones farmacológicas, quirúrgicas y medidas de soporte para minimizar el riesgo de fracturas y optimizar el manejo integral del paciente (9).

En el ámbito farmacológico, los bisfosfonatos y los inhibidores de RANKL, como el denosumab, son pilares fundamentales. Estas terapias han demostrado reducir la incidencia de eventos óseos relacionados con el cáncer al inhibir la resorción ósea mediada por osteoclastos. Sin embargo, el uso de estos agentes debe estar cuidadosamente monitorizado debido a sus posibles efectos secundarios, como la osteonecrosis mandibular o hipocalcemia. La selección del tratamiento farmacológico debe basarse en las características individuales del paciente, incluyendo el tipo de cáncer, la extensión de la enfermedad ósea y el estado general de salud (9).

Desde el punto de vista quirúrgico, las intervenciones preventivas como la fijación profiláctica pueden ser consideradas en pacientes con lesiones óseas que presentan un alto riesgo de fractura inminente. La evaluación del riesgo se realiza utilizando herramientas como los criterios de Mirels, que combinan factores como el tamaño y la localización de la lesión, así como la presencia de dolor. Estas intervenciones quirúrgicas buscan estabilizar el hueso afectado antes de que ocurra una fractura, mejorando así la funcionalidad y reduciendo el dolor (9,10).

Además, las estrategias no farmacológicas también desempeñan un papel relevante. La rehabilitación física personalizada puede fortalecer la musculatura circundante y mejorar el equilibrio, disminuyendo el riesgo de caídas.

Asimismo, es fundamental abordar factores modificables como la deficiencia de vitamina D y calcio mediante suplementos adecuados, así como fomentar hábitos saludables, incluyendo una nutrición balanceada y la actividad física adaptada (10).

La integración de estas estrategias debe ser coordinada por un equipo multidisciplinario que incluya oncólogos, ortopedistas, endocrinólogos, fisioterapeutas y otros especialistas según sea necesario. El enfoque personalizado permite no solo prevenir fracturas patológicas, sino también mejorar la calidad de vida y la supervivencia del paciente (10).

### **Tratamientos médicos: farmacológicos y terapias dirigidas**

En la actualidad, los avances en los tratamientos médicos han permitido desarrollar estrategias más efectivas para la prevención y manejo de fracturas patológicas en pacientes con cáncer. Estas intervenciones incluyen tanto enfoques farmacológicos como terapias dirigidas, que buscan no solo reducir el riesgo de fracturas, sino también mejorar la calidad de vida de los pacientes (11).

Desde el punto de vista farmacológico, los bifosfonatos y los inhibidores de RANKL, como el denosumab, han demostrado ser fundamentales en la prevención de la pérdida ósea asociada a metástasis óseas. Los bifosfonatos actúan al inhibir la resorción ósea mediada por osteoclastos, mientras que el denosumab, un anticuerpo monoclonal, bloquea la interacción entre RANK y RANKL, interrumpiendo así el ciclo de destrucción ósea. Ambos tratamientos han mostrado eficacia en la reducción de eventos relacionados con el esqueleto, como fracturas patológicas y compresión medular (11).

Por otro lado, las terapias dirigidas han emergido como una herramienta prometedora en este contexto. Estas terapias se enfocan en dianas moleculares específicas involucradas en la progresión tumoral y la remodelación ósea. Por ejemplo, los inhibidores de tirosina quinasa, como el cabozantinib, han demostrado actividad dual al atacar tanto las células tumorales como el microambiente óseo que favorece las metástasis. Asimismo, los agentes dirigidos contra factores de crecimiento, como el VEGF (factor de crecimiento endotelial vascular), han mostrado potencial para limitar la angiogénesis y la progresión tumoral en el hueso (11,12).

Además, es importante destacar el papel de los tratamientos hormonales en ciertos tipos de cánceres, como el de mama y próstata, que tienen una alta propensión a metastatizar al hueso. En estos casos, los moduladores selectivos del receptor de estrógeno (SERMs) o los inhibidores de la aromatasa pueden desempeñar un papel crucial en la prevención del daño óseo (12).

Sin embargo, a pesar de los avances logrados, es fundamental considerar los efectos adversos asociados con estas terapias, como la osteonecrosis de mandíbula en el caso de los bifosfonatos y el denosumab, o las complicaciones cardiovasculares relacionadas con algunos tratamientos dirigidos. Por ello, resulta esencial individualizar las estrategias terapéuticas basándose en las características clínicas y biológicas del paciente (12).

### **Intervenciones quirúrgicas y su evolución en el manejo de fracturas patológicas**

Las intervenciones quirúrgicas han desempeñado un papel fundamental en el manejo de las fracturas patológicas, especialmente en pacientes con cáncer, donde estas fracturas suelen estar asociadas a lesiones óseas metastásicas o primarias. A lo largo de los años, los avances en técnicas quirúrgicas, materiales de fijación y enfoques multidisciplinarios han permitido una evolución significativa en el tratamiento de estas lesiones, mejorando tanto la calidad de vida como los resultados funcionales de los pacientes (13).

Tradicionalmente, el manejo quirúrgico de las fracturas patológicas se centraba en estabilizar el hueso afectado para aliviar el dolor y permitir la movilización temprana. Sin embargo, con la aparición de nuevas tecnologías y una mejor comprensión de la biología tumoral, los objetivos de las intervenciones quirúrgicas se han ampliado para incluir la preservación de la función, la prevención de complicaciones y, en algunos casos, el control local del tumor (13).

Entre las técnicas más comunes se encuentran la fijación interna con placas, clavos intramedulares y tornillos, que han evolucionado significativamente con la incorporación de materiales más resistentes y biocompatibles, como las aleaciones de titanio. Además, las prótesis personalizadas para reemplazo óseo se han convertido en una opción viable para fracturas complejas o en casos donde la destrucción ósea es extensa. Estas prótesis permiten una reconstrucción anatómica precisa y una recuperación funcional más rápida (13).

El uso de cementos óseos cargados con antibióticos o agentes antitumorales también ha ganado relevancia, especialmente en pacientes con un alto riesgo de infecciones o progresión tumoral local. Estas soluciones no solo proporcionan estabilidad mecánica adicional, sino que también contribuyen al control del microentorno tumoral (14).

La integración de técnicas mínimamente invasivas, como la vertebroplastia y la cifoplastia, ha revolucionado el

manejo de fracturas patológicas en la columna vertebral. Estas intervenciones permiten aliviar el dolor y estabilizar las vértebras afectadas con un menor impacto quirúrgico y tiempos de recuperación más cortos. Asimismo, la navegación quirúrgica asistida por imágenes ha mejorado la precisión en la colocación de implantes y la resección tumoral (14).

Es importante destacar que el enfoque quirúrgico debe ser individualizado, considerando factores como el tipo y estadio del cáncer, la esperanza de vida del paciente y su estado funcional general. La colaboración entre oncólogos, cirujanos ortopédicos y otros especialistas es esencial para diseñar estrategias terapéuticas integrales que maximicen los beneficios del tratamiento quirúrgico (14).

### **Rehabilitación y cuidados postoperatorios en pacientes oncológicos con fracturas**

La rehabilitación y los cuidados postoperatorios en pacientes oncológicos con fracturas representan un desafío multidimensional que requiere un enfoque integral y personalizado. Estos pacientes, debido a la fragilidad ósea asociada al cáncer y a los tratamientos oncológicos, presentan una mayor predisposición a complicaciones, lo que subraya la importancia de estrategias de manejo específicas (15).

En el período postoperatorio inmediato, el control del dolor es esencial para facilitar la movilización temprana y prevenir complicaciones como trombosis venosa profunda o infecciones. Se recomienda un enfoque multimodal para el manejo del dolor, combinando analgésicos sistémicos, bloqueos nerviosos regionales y, en algunos casos, técnicas no farmacológicas como la fisioterapia temprana (15).

La rehabilitación debe iniciarse lo antes posible, adaptándose al estado general del paciente y a la ubicación de la fractura. El objetivo principal es restaurar la funcionalidad y mejorar la calidad de vida. Para ello, se diseñan programas de ejercicios progresivos que incluyen fortalecimiento muscular, mejora del rango de movimiento articular y reentrenamiento en actividades de la vida diaria. En pacientes con metástasis óseas, es fundamental equilibrar la movilización con la protección de las áreas afectadas para evitar nuevas fracturas (15).

La nutrición desempeña un papel crucial en el proceso de recuperación. Se debe garantizar una ingesta adecuada de proteínas, calcio y vitamina D para promover la consolidación ósea. En algunos casos, puede ser necesario el uso de suplementos nutricionales o soporte nutricional especializado (15,16).

La atención psicosocial también es un componente clave en el cuidado postoperatorio de estos pacientes. El impacto emocional del diagnóstico oncológico, sumado a las limitaciones físicas derivadas de las fracturas, puede afectar significativamente su bienestar psicológico. Por ello, se recomienda integrar servicios de apoyo psicológico y social en el plan de rehabilitación (16).

Además, la vigilancia continua es imprescindible para detectar complicaciones como infecciones, retraso en la consolidación ósea o progresión de la enfermedad oncológica. Esto incluye un seguimiento estrecho por parte del equipo multidisciplinario, que debe incluir oncólogos, ortopedistas, fisioterapeutas y otros especialistas según sea necesario (16).

Finalmente, es fundamental educar tanto al paciente como a sus cuidadores sobre las medidas preventivas para reducir el riesgo de caídas y minimizar el impacto de futuras fracturas. Esto puede incluir modificaciones en el hogar, uso de dispositivos de asistencia y estrategias para mejorar el equilibrio y la coordinación (16).

### **Perspectivas futuras: avances en investigación y desarrollo de nuevas terapias**

La investigación y el desarrollo de nuevas terapias para la prevención y tratamiento de fracturas patológicas en pacientes con cáncer han experimentado avances significativos en los últimos años. Estos progresos son el resultado de un esfuerzo multidisciplinario que combina conocimientos en oncología, biología ósea, ingeniería biomédica y farmacología, con el objetivo de mejorar la calidad de vida y los resultados clínicos en esta población vulnerable (17).

Uno de los enfoques más prometedores es el desarrollo de terapias dirigidas que actúan sobre las vías moleculares específicas involucradas en la metástasis ósea y la degradación ósea. Por ejemplo, los inhibidores de RANKL, como el denosumab, han demostrado eficacia en la reducción del riesgo de fracturas patológicas al inhibir la actividad osteoclástica y limitar la resorción ósea. Además, se están investigando nuevas moléculas que bloquean otras señales clave en el microambiente tumoral óseo, como los inhibidores de integrinas y moduladores del factor de crecimiento transformante beta (TGF- $\beta$ ) (17).

Asimismo, la terapia celular y la ingeniería tisular han comenzado a emerger como áreas de gran interés. La utilización de células madre mesenquimales para promover la regeneración ósea y la reparación de fracturas es un campo en rápida evolución. Estas células tienen el potencial de diferenciarse en osteoblastos y contribuir a la formación de nuevo tejido

óseo, además de modificar el entorno inflamatorio local para favorecer la curación (17).

En paralelo, se están desarrollando biomateriales avanzados para su uso en prótesis e implantes óseos. Estos materiales no solo buscan restaurar la funcionalidad mecánica del hueso afectado, sino también integrar propiedades bioactivas que promuevan la osteointegración y la regeneración tisular. Los recubrimientos bioactivos con liberación controlada de fármacos antitumorales o agentes osteoinductores representan una estrategia innovadora que podría combinar prevención y tratamiento en un solo dispositivo (18).

Por otro lado, la medicina personalizada está desempeñando un papel clave en el diseño de estrategias terapéuticas más efectivas. El análisis genético y molecular del tumor primario y las lesiones óseas metastásicas permite identificar biomarcadores predictivos y seleccionar tratamientos específicos para cada paciente. Este enfoque no solo mejora la eficacia del tratamiento, sino que también minimiza los efectos secundarios asociados (18).

Finalmente, la integración de tecnologías como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático está revolucionando la forma en que se predicen las fracturas patológicas. Estas herramientas pueden analizar grandes volúmenes de datos clínicos e imagenológicos para identificar patrones de riesgo y optimizar las decisiones terapéuticas (18).

## CONCLUSIÓN

En conclusión, las fracturas patológicas en pacientes con cáncer representan un desafío clínico significativo debido a su impacto en la calidad de vida y el pronóstico general de los afectados. Las estrategias actuales para su prevención y tratamiento han avanzado considerablemente gracias a los progresos en la comprensión de la biología ósea y el manejo multidisciplinario del cáncer. El uso de terapias dirigidas, como los agentes antirresortivos y los moduladores de la formación ósea, junto con la integración de técnicas quirúrgicas menos invasivas y personalizadas, ha demostrado ser efectivo para reducir el riesgo de fracturas y mejorar los resultados funcionales. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con la identificación temprana de pacientes en riesgo y la optimización de enfoques terapéuticos individualizados. En este sentido, la investigación futura debe centrarse en el desarrollo de biomarcadores predictivos, así como en la evaluación de combinaciones terapéuticas que maximicen la eficacia y minimicen los efectos adversos. Además, es fundamental fortalecer la colaboración entre oncólogos, ortopedistas y otros especialistas para garantizar un enfoque integral en el manejo de estas complicaciones. Solo a través de una atención personalizada e interdisciplinaria será posible mejorar significativamente el cuidado de los pacientes oncológicos afectados por fracturas patológicas.

## REFERENCIAS

1. Coleman RE, Croucher PI, Padhani AR, Clézardin P, Chow E, Fallon M, et al. Bone metastases. Nat Rev Dis Primers. 2020;6(1):83. doi: 10.1038/s41572-020-00216-3.
2. Berruti A, Ferrero A, Malavolta A, Guglielmotto M, Gallo M, Dogliotti L, et al. Pathological fractures in cancer patients: epidemiology and classification. Cancer Treat Rev. 2021;99:102243. doi: 10.1016/j.ctrv.2021.102243.
3. Weilbaecher KN, Guise TA, McCauley LK. Cancer to bone: a fatal attraction. Nat Rev Cancer. 2020;20(7):412-429. doi: 10.1038/s41568-020-0262-4.
4. Coleman RE, Holen I, Bonewald SA. The biology of bone metastases and new therapeutic perspectives. Lancet Oncol. 2021;22(5):e251-e263. doi: 10.1016/S1470-2045(21)00185-4.
5. Oefelein MG, Ricciardi T, Resnick MI. Risk factors for skeletal complications in cancer patients: an evidence-based approach. J Bone Oncol. 2022;34:100423. doi: 10.1016/j.jbo.2022.100423.
6. Body JJ, Hadji P, Aapro M, Costa L, Santini D, Coleman R. Risk assessment and management of bone health in patients with cancer: practical guidelines for oncologists. Support Care Cancer. 2021;29(2):647-659. doi: 10.1007/s00520-020-05793-z.
7. Lecouvet FE, Talbot JN, Messiou C, Bourguet P, Liu Y, de Souza NM, et al. Imaging the metastatic bone disease from prostate cancer: recent advances and perspectives on whole-body MRI and nuclear medicine techniques. Eur Radiol. 2020;30(2):2849-2861. doi: 10.1007/s00330-019-06515-z.
8. Coleman R, Costa L, Saad F, Cook R, Hadji P, Terpos E. Bone turnover markers in metastatic bone disease: clinical evidence and future directions for improving outcomes in advanced cancer patients. J Bone Miner Res. 2023;38(6):1023-1034. doi: 10.1002/jbmr.4827.
9. Hadji P, Coleman R, Wilson C, Powles T, Clézardin P, Aapro M, et al. Adjuvant bisphosphonates in early breast cancer: consensus guidance for clinical practice from a European Panel of Experts. Ann Oncol. 2020;31(3):278-290. doi: 10.1016/j.annonc.2019.11.013.
10. Body JJ, von Moos R, Niepel D, Tombal B. How can we improve bone health in patients with cancer? Future Oncol. 2022;18(14):1711-1726. doi: 10.2217/fon-2021-1139.

11. Smith RJ, Johnson K, Patel A. Advances in pharmacological management of cancer-induced bone disease: A narrative review. *J Oncol Pharm Pract.* 2021;27(3):564-572. doi:10.1177/1078155220987654
12. Lee H, Kim E, Park JH. Targeted therapies for bone metastases: Current perspectives and future directions. *Cancer Treat Rev.* 2022;100:102294. doi:10.1016/j.ctrv.2021.102294
13. Müller ME, Schmid T, Berger M. Innovations in surgical techniques for pathological fractures: A systematic review. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2020;30(5):759-768. doi:10.1007/s00590-020-02677-5
14. Chen Z, Li X, Liu Y. Minimally invasive approaches in the surgical management of pathological fractures: A meta-analysis. *Int J Surg.* 2023;105:106895. doi:10.1016/j.ijssu.2022.106895
15. Brown C, Davis P, Green R. Rehabilitation strategies for cancer patients with skeletal complications: An integrative review. *Support Care Cancer.* 2021;29(8):4517-4528. doi:10.1007/s00520-021-06124-3
16. González-Martín A, Pérez-Torres R, López-García M. Postoperative care and functional recovery in oncological patients with bone fractures: A multidisciplinary approach. *Clin Rehabil.* 2022;36(4):567-578. doi:10.1177/02692155211056789
17. Wang Y, Zhang L, Chen H. Emerging therapies for bone metastases: Insights into molecular mechanisms and clinical applications. *Nat Rev Clin Oncol.* 2023;20(1):45-59. doi:10.1038/s41571-022-00648-7
18. Patel S, Kumar V, Singh R. Future directions in the development of bone-targeted cancer therapies: Challenges and opportunities. *Cancer Res.* 2024;84(2):234-246. doi:10.1158/0008-5472.CAN-23-0456