



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2025,
Volumen 9, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1

EVALUACIÓN DE TÉCNICAS QUIRÚRGICAS MÍNIMAMENTE INVASIVAS EN ORTOPEDIA: REVISIÓN SISTEMÁTICA

**EVALUATION OF MINIMALLY INVASIVE
SURGICAL TECHNIQUES IN ORTHOPEDICS:
A SYSTEMATIC REVIEW**

Arturo Trujillo Montenegro

Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud, Colombia

Bobby Stefen Camacho Palacios

Universidad de la Sabana, Colombia

Julián Eduardo Soto Durán

Universidad Juan N Corpas, Bogotá Colombia

Evaluación de Técnicas Quirúrgicas Mínimamente Invasivas en Ortopedia: Revisión Sistemática

Arturo Trujillo Montenegro¹

atrujillomontenegro@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-3329-7001>

Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud

FUCS

Bogotá, Colombia

Bobby Stefen Camacho Palacios

Bobbycamachopalacios@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9625-3306>

Universidad de la Sabana

Bogotá, Colombia

Julián Eduardo Soto Durán

juliansd1396@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9880-5250>

Universidad Juan N Corpas

Bogotá Colombia

RESUMEN

El presente artículo de revisión tiene como objetivo evaluar las Técnicas Quirúrgicas Mínimamente Invasivas (TQMI) aplicadas en el campo de la ortopedia, analizando su eficacia, seguridad, aplicabilidad y sostenibilidad en comparación con los procedimientos quirúrgicos convencionales. Para ello, se empleó la metodología PRISMA, lo que permitió una búsqueda y selección sistemática de estudios científicos publicados entre 2015 y 2025 en bases de datos como PubMed, Scopus, Web of Science, Science Direct y Cochrane Library. Se incluyeron 48 estudios que cumplieron con criterios rigurosos de elegibilidad y calidad metodológica. Los resultados fueron organizados en seis categorías analíticas: tipo de técnica quirúrgica, región anatómica intervenida, resultados clínicos, complicaciones, duración quirúrgica y hospitalaria, y coste-efectividad. Los hallazgos evidencian que las TQMI ofrecen beneficios clínicos relevantes, como menor dolor postoperatorio, recuperación funcional acelerada, menor tiempo de hospitalización y tasas reducidas de complicaciones. No obstante, se identifican desafíos como la curva de aprendizaje, el alto costo tecnológico y la limitada accesibilidad en contextos con bajos recursos. Se concluye que las TQMI representan un avance significativo en la cirugía ortopédica moderna, aunque su implementación debe ser contextualizada, ética y basada en evidencia científica sólida.

Palabras claves: cirugía mínimamente invasiva, ortopedia, revisión sistemática

¹ Autor principal

Correspondencia: atrujillomontenegro@gmail.com

Evaluation of Minimally Invasive Surgical Techniques in Orthopedics: A Systematic Review

ABSTRACT

This review article aims to evaluate minimally invasive surgical techniques (MIST) applied in the field of orthopedics, analyzing their effectiveness, safety, applicability, and sustainability in comparison to conventional surgical procedures. The PRISMA methodology was employed, enabling a systematic search and selection of scientific studies published between 2015 and 2025 in databases such as PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Cochrane Library. A total of 48 studies met strict eligibility and methodological quality criteria. The results were organized into six analytical categories: type of surgical technique, anatomical region involved, clinical outcomes, complications, surgical and hospital duration, and cost-effectiveness. Findings show that MIST offer significant clinical benefits, including reduced postoperative pain, faster functional recovery, shorter hospital stays, and lower complication rates. However, challenges such as the learning curve, high technological cost, and limited accessibility in low-resource settings were also identified. It is concluded that MIST represent a major advancement in modern orthopedic surgery, though their implementation must be context-sensitive, ethical, and grounded in solid scientific evidence.

Keywords: minimally invasive surgery, orthopedics, systematic review

Artículo recibido 11 junio 2025
Aceptado para publicación: 30 junio 2025



INTRODUCCIÓN

La ortopedia moderna ha experimentado una evolución significativa en las últimas décadas, particularmente con la incorporación de Técnicas Quirúrgicas Mínimamente Invasivas (TQMI). Estas técnicas han revolucionado el tratamiento de diversas patologías musculoesqueléticas, permitiendo intervenciones más precisas, con menor daño a los tejidos blandos, menor pérdida sanguínea y una recuperación más rápida en comparación con los métodos quirúrgicos tradicionales (Hernigou et al., 2020). Esta transformación se ha visto impulsada por avances tecnológicos en imagenología, instrumentación quirúrgica y navegación asistida por computadora, lo que ha permitido abordar lesiones complejas con procedimientos menos agresivos y más personalizados.

Las TQMI en ortopedia se fundamentan en el principio de preservar al máximo las estructuras anatómicas no afectadas, favoreciendo una pronta rehabilitación y disminuyendo las complicaciones postoperatorias. Estas técnicas se han aplicado exitosamente en diversos procedimientos, como artroscopias, reemplazos articulares asistidos por robot, fijación percutánea de fracturas y cirugía endoscópica de columna vertebral (Mihalj et al., 2021).

Su aplicación se ha expandido no solo en países desarrollados, sino también en contextos emergentes, lo cual evidencia su adaptabilidad y efectividad.

A pesar de sus múltiples ventajas, las TQMI no están exentas de desafíos. La curva de aprendizaje para los cirujanos, los costos asociados con la adquisición de equipos especializados y la limitada disponibilidad de evidencia robusta a largo plazo en algunas áreas han sido señaladas como barreras importantes para su implementación universal (Li & Ma, 2019). De ahí que resulte pertinente realizar un análisis sistemático del estado del arte en esta área, evaluando tanto la eficacia clínica como la seguridad de estas técnicas en distintos contextos ortopédicos.

En la actualidad, las afecciones musculoesqueléticas representan una de las principales causas de discapacidad a nivel mundial, afectando la calidad de vida de millones de personas y generando altos costos socioeconómicos (Vos et al., 2020). Ante este escenario, la búsqueda de intervenciones quirúrgicas más eficientes, menos invasivas y con mejores resultados funcionales se ha convertido en una prioridad en la práctica clínica ortopédica.



Estudios recientes han demostrado que, en patologías como la artrosis de rodilla o cadera, las TQMI pueden ofrecer resultados equivalentes o superiores a las técnicas tradicionales, con menos complicaciones y tiempos de hospitalización reducidos (DeClaire & Ries, 2022).

Un aspecto relevante en la evaluación de estas técnicas es la perspectiva del paciente. En numerosos ensayos clínicos, se ha documentado una mayor satisfacción en pacientes sometidos a TQMI, en parte debido a la reducción del dolor postoperatorio y a la pronta reincorporación a las actividades diarias (Zhang et al., 2021). Asimismo, se ha observado un menor uso de analgésicos y una disminución del riesgo de infecciones nosocomiales, lo cual representa un valor agregado tanto desde el punto de vista clínico como económico (Schroer et al., 2019).

En el ámbito de la cirugía de columna, por ejemplo, las técnicas mínimamente invasivas han ganado terreno frente a la cirugía abierta convencional, especialmente en procedimientos como la discectomía lumbar, la fusión espinal y la descompresión vertebral (Wang et al., 2020). Estas intervenciones, realizadas a través de pequeñas incisiones y con ayuda de tecnología endoscópica o fluoroscópica, han demostrado ser eficaces en reducir el trauma quirúrgico, el sangrado intraoperatorio y el riesgo de lesiones neurológicas, favoreciendo un mejor pronóstico funcional (Bae et al., 2022).

En el campo de la traumatología ortopédica, la fijación percutánea de fracturas mediante clavos o tornillos guiados por imagen ha permitido mejorar el alineamiento óseo y reducir el daño muscular adyacente. Esta estrategia, que se ha consolidado como una alternativa eficiente en fracturas de pelvis, fémur proximal y húmero, ha sido validada por diversas investigaciones clínicas (Starr et al., 2018). La evidencia disponible también sugiere que estas técnicas presentan una menor incidencia de complicaciones infecciosas, menor tiempo quirúrgico y una recuperación funcional más rápida, lo que repercute positivamente en los costos hospitalarios (Tarkin et al., 2020).

La artroscopia, como paradigma de cirugía mínimamente invasiva, ha alcanzado un desarrollo notable en articulaciones como rodilla, hombro, cadera y muñeca. Su utilidad diagnóstica y terapéutica ha sido ampliamente documentada, y se considera actualmente el estándar de oro en el manejo de lesiones intraarticulares (Andrews et al., 2021). Además, su implementación ha demostrado ser coste-efectiva a largo plazo, al reducir la necesidad de reintervenciones y facilitar la rehabilitación ambulatoria del paciente.



No obstante, también se han identificado limitaciones importantes en la práctica de TQMI, especialmente en procedimientos complejos o en pacientes con comorbilidades. La falta de visibilidad directa, la dependencia de dispositivos de imagen y la posibilidad de errores técnicos son aspectos que requieren una formación especializada y protocolos quirúrgicos bien estandarizados (Kwon & Song, 2019). Asimismo, algunos estudios han cuestionado la efectividad de las TQMI en ciertos escenarios clínicos, donde las técnicas tradicionales siguen mostrando mejores resultados funcionales o menor tasa de complicaciones (Yin et al., 2020).

El desarrollo de la robótica y la inteligencia artificial ha abierto nuevas oportunidades para la optimización de las TQMI. Actualmente, sistemas como MAKRO, ROSA o Navio permiten una planificación quirúrgica precisa y una ejecución asistida en tiempo real, reduciendo el margen de error y mejorando los resultados postoperatorios (Huang et al., 2022). Estas innovaciones, si bien requieren una inversión inicial significativa, representan una promesa en la evolución de la cirugía ortopédica hacia una mayor personalización y eficiencia.

En términos metodológicos, resulta indispensable contar con evidencia científica de calidad que respalde la implementación de estas técnicas. En los últimos años, se ha incrementado la producción de ensayos clínicos aleatorizados, estudios observacionales y revisiones sistemáticas que permiten comparar directamente los resultados de las TQMI frente a las técnicas convencionales (Bhandari et al., 2021). Sin embargo, persisten vacíos en la literatura, particularmente en cuanto a la evaluación a largo plazo de los resultados funcionales, la durabilidad de los implantes utilizados y la calidad de vida posterior a la cirugía.

Considerando este panorama, el presente artículo de revisión tiene como objetivo central realizar un análisis exhaustivo de la literatura científica reciente (2015-2025) sobre el uso de Técnicas Quirúrgicas Mínimamente Invasivas en ortopedia, evaluando su eficacia, seguridad y aplicabilidad en distintas patologías musculoesqueléticas. Para ello, se ha adoptado la metodología PRISMA, la cual permite una identificación rigurosa y sistemática de los estudios más relevantes en la temática. Esta revisión pretende no solo sintetizar la evidencia actual, sino también identificar tendencias emergentes, brechas en el conocimiento y recomendaciones para la práctica clínica y la investigación futura.

A través de esta revisión, se espera contribuir al cuerpo de conocimiento científico disponible en el área, proporcionando a cirujanos, investigadores y responsables de políticas de salud una base sólida para la toma de decisiones clínicas y estratégicas. Dado que la demanda de procedimientos ortopédicos sigue en aumento, especialmente en una población envejecida con alta prevalencia de enfermedades degenerativas articulares, el desarrollo y evaluación crítica de las TQMI se vuelve no solo relevante, sino urgente (Cieza et al., 2021). La sostenibilidad de los sistemas de salud, la mejora de los resultados clínicos y la calidad de vida del paciente dependen, en gran medida, de la adecuada integración de estas innovaciones en la práctica médica diaria.

En síntesis, la cirugía ortopédica mínimamente invasiva representa un hito en la evolución de la medicina quirúrgica moderna. Sus beneficios potenciales han sido ampliamente reconocidos, pero su implementación exige una evaluación crítica basada en evidencia sólida. Este trabajo se propone abordar ese desafío, mediante una revisión sistemática de los estudios más representativos publicados en la última década, con el fin de establecer un panorama actualizado y orientador sobre el papel de las TQMI en la ortopedia contemporánea.

Contexto y Relevancia del Estudio

En el ámbito de la cirugía ortopédica, la innovación tecnológica ha transformado radicalmente las estrategias quirúrgicas disponibles, dando lugar a las Técnicas Quirúrgicas Mínimamente Invasivas (TQMI). Estas técnicas han ganado notoriedad por reducir el trauma quirúrgico, acortar los tiempos de recuperación, disminuir el dolor postoperatorio y mejorar la calidad de vida de los pacientes, en comparación con la cirugía tradicional (Hernigou et al., 2020; Mihalj et al., 2021). La creciente demanda de intervenciones quirúrgicas menos agresivas, impulsada por el envejecimiento de la población y el aumento de patologías osteoarticulares como la artrosis, fracturas y hernias discales, ha generado un contexto propicio para la expansión y perfeccionamiento de las TQMI (Vos et al., 2020).

En paralelo, la presión sobre los sistemas de salud para mejorar la eficiencia sin comprometer los resultados clínicos ha posicionado a las TQMI como una solución viable, tanto clínica como económicamente. Varios estudios destacan que las técnicas mínimamente invasivas contribuyen a reducir los costos asociados con las hospitalizaciones prolongadas, las complicaciones postoperatorias y la rehabilitación (Zhang et al., 2021; Schroer et al., 2019).



Sin embargo, a pesar de estos avances, existen barreras significativas en cuanto a la implementación generalizada de estas técnicas. La falta de entrenamiento especializado, los elevados costos iniciales de los equipos tecnológicos y la escasez de estudios a largo plazo limitan su adopción sistemática (Li & Ma, 2019). Esta situación genera una importante brecha entre el potencial de las TQMI y su aplicación práctica, lo que plantea la necesidad de una revisión crítica de la literatura científica para comprender su eficacia real, su seguridad y su aplicabilidad clínica en distintos contextos.

Este estudio reviste relevancia no solo por sintetizar la evidencia existente sobre las TQMI, sino también por ofrecer un análisis comparativo entre diversas técnicas y contextos ortopédicos. En consecuencia, los hallazgos pueden orientar tanto a profesionales de la salud como a tomadores de decisiones en la planificación de políticas sanitarias, capacitación quirúrgica e inversión en tecnologías médicas. En un entorno donde la precisión quirúrgica y la recuperación acelerada son esenciales, la evaluación sistemática de las TQMI se convierte en un imperativo para garantizar la calidad asistencial y la sostenibilidad del sistema sanitario.

Fundamentación Teórica

Las Técnicas Quirúrgicas Mínimamente Invasivas han surgido como una respuesta innovadora a las limitaciones de la cirugía ortopédica convencional. Basadas en el principio de preservar la integridad de los tejidos blandos y minimizar el trauma quirúrgico, estas técnicas buscan optimizar los resultados funcionales postoperatorios mediante el uso de pequeñas incisiones, visualización asistida por cámara y tecnología de navegación quirúrgica (Andrews et al., 2021). A diferencia de la cirugía abierta, donde se requiere una exposición extensa del campo operatorio, las TQMI permiten intervenir de forma localizada, reduciendo el sangrado, el riesgo de infección y la duración del procedimiento (Bae et al., 2022).

Desde una perspectiva biomecánica, la preservación de la arquitectura anatómica natural del paciente se traduce en una recuperación más fisiológica. Por ejemplo, en el reemplazo total de rodilla asistido por robot, la precisión en el alineamiento del implante mejora el rango de movimiento y reduce el desgaste precoz del material protésico (DeClaire & Ries, 2022). Asimismo, en la cirugía de columna, técnicas como la discectomía endoscópica y la fusión intersomática transforaminal mínimamente

invasiva han demostrado superioridad en términos de reducción del dolor, preservación muscular y retorno temprano a las actividades cotidianas (Wang et al., 2020).

La incorporación de tecnologías emergentes ha potenciado el desarrollo de las TQMI. Sistemas de navegación computarizada, inteligencia artificial, robótica quirúrgica y realidad aumentada están siendo integrados en quirófanos avanzados, facilitando la toma de decisiones intraoperatorias y mejorando la exactitud en la colocación de implantes (Huang et al., 2022). Estos avances han permitido una planificación preoperatoria personalizada basada en imágenes tridimensionales y simulaciones virtuales, lo que reduce la variabilidad interquirúrgica y favorece una medicina más precisa.

Desde el punto de vista de la medicina basada en la evidencia, las TQMI han sido objeto de múltiples ensayos clínicos y revisiones sistemáticas. Estas investigaciones han demostrado beneficios consistentes en cuanto a menor estancia hospitalaria, reducción de complicaciones y mejores escalas de funcionalidad postoperatoria en pacientes con artrosis, fracturas o patologías discales (Bhandari et al., 2021). No obstante, también se han reportado limitaciones, como la necesidad de una curva de aprendizaje prolongada, el aumento del tiempo quirúrgico en las primeras fases de implementación y la dependencia de equipos costosos (Yin et al., 2020).

La teoría del cambio en el abordaje quirúrgico ortopédico sugiere que las TQMI representan no solo una mejora técnica, sino una transformación cultural en la forma de concebir el tratamiento quirúrgico. Esto implica repensar los programas de formación quirúrgica, los modelos de evaluación de calidad asistencial y las políticas públicas de salud en torno a la adopción de nuevas tecnologías. En este sentido, el análisis teórico de las TQMI debe considerar tanto su base técnica como sus implicancias éticas, económicas y organizativas en la práctica médica contemporánea.

En suma, las TQMI constituyen una evolución significativa en la cirugía ortopédica, integrando ciencia, tecnología y humanismo médico en favor del paciente. Su fundamentación teórica se apoya en principios de precisión anatómica, eficiencia terapéutica y reducción de la morbilidad quirúrgica, elementos clave para comprender su impacto en la salud musculoesquelética y proyectar su desarrollo futuro.



Problemática

Pese a los notables avances de las TQMI en ortopedia, su implementación enfrenta diversas barreras que dificultan su adopción plena en todos los contextos sanitarios. Una de las principales problemáticas es la falta de homogeneidad en la evidencia científica sobre su eficacia a largo plazo. Aunque muchos estudios han documentado beneficios en la recuperación temprana, existe limitada información respecto a la durabilidad de los resultados, la funcionalidad sostenida del paciente y la necesidad de reintervención en el mediano y largo plazo (Li & Ma, 2019; Mihalj et al., 2021). Esta falta de datos robustos complica la comparación con las técnicas tradicionales, dificultando la toma de decisiones clínicas basadas en evidencia.

Asimismo, la curva de aprendizaje representa una dificultad significativa. La práctica de las TQMI requiere habilidades específicas en el uso de tecnología quirúrgica avanzada, así como una coordinación fina entre los miembros del equipo quirúrgico. Diversos estudios han demostrado que los cirujanos que inician en estas técnicas presentan mayores tiempos operatorios y tasas de complicaciones en las primeras intervenciones (Kwon & Song, 2019). Esto implica la necesidad de establecer programas formativos estructurados, así como centros de excelencia que sirvan como referentes en capacitación y supervisión clínica.

El costo es otra variable crítica. La adquisición de equipos de navegación, sistemas robóticos y plataformas de realidad aumentada supone una inversión inicial elevada, que no siempre se justifica en contextos con recursos limitados. Aunque algunos análisis de costo-beneficio sugieren que, a largo plazo, las TQMI pueden ser más económicas por la reducción en días de hospitalización y en complicaciones, otros estudios argumentan que su costo-efectividad depende del volumen quirúrgico y de una infraestructura adecuada (Schroer et al., 2019; Tarkin et al., 2020). Esta disparidad afecta especialmente a los sistemas de salud públicos en países de ingresos bajos y medios.

Desde la perspectiva del paciente, también se presentan desafíos. La sobreexpectativa generada por estas tecnologías, alimentada en ocasiones por campañas de marketing médico, puede generar desilusión si los resultados no cumplen con las expectativas. Además, no todos los pacientes son candidatos ideales para las TQMI.

Pacientes con anatomías complejas, comorbilidades importantes o antecedentes quirúrgicos pueden no beneficiarse de la misma manera que otros, lo que obliga a una evaluación individualizada rigurosa (Yin et al., 2020).

Por otro lado, existe una necesidad urgente de estandarizar las guías clínicas y los protocolos quirúrgicos relacionados con las TQMI. En la actualidad, se observa una gran variabilidad en las técnicas utilizadas, los criterios de selección del paciente y las métricas de evaluación de resultados, lo que limita la comparabilidad entre estudios y dificulta la implementación de políticas basadas en evidencia (Bhandari et al., 2021). La ausencia de consenso entre sociedades científicas también contribuye a esta fragmentación, perpetuando la incertidumbre clínica y organizativa.

La dimensión ética y equitativa de estas técnicas no debe pasarse por alto. La introducción de tecnologías avanzadas en contextos donde persisten brechas en el acceso a la atención básica puede profundizar la desigualdad en salud. Es esencial, por tanto, que la adopción de las TQMI esté acompañada de políticas integrales que garanticen su acceso universal, su implementación segura y su evaluación continua (Cieza et al., 2021).

Objetivo General

Analizar de manera sistemática la evidencia científica disponible sobre las Técnicas Quirúrgicas Mínimamente Invasivas en ortopedia, evaluando su eficacia, seguridad y aplicabilidad clínica en comparación con los procedimientos quirúrgicos tradicionales.

Objetivos Específicos

1. Identificar los principales procedimientos ortopédicos que emplean TQMI en la última década.
2. Comparar los resultados clínicos y funcionales obtenidos mediante TQMI y cirugía convencional.
3. Evaluar las limitaciones, complicaciones y barreras en la implementación de las TQMI.
4. Determinar las tendencias tecnológicas emergentes asociadas al desarrollo de estas técnicas.

Preguntas de Investigación

- ¿Qué tipo de intervenciones ortopédicas utilizan con mayor frecuencia técnicas mínimamente invasivas?
- ¿Cuáles son los resultados funcionales y de recuperación más relevantes asociados a las TQMI en comparación con la cirugía tradicional?



- ¿Qué factores limitan la adopción de las TQMI en diferentes contextos sanitarios?
- ¿Qué tecnologías complementarias se están incorporando actualmente para optimizar los resultados de las TQMI?

METODOLOGÍA

La presente revisión sistemática se desarrolló conforme a los lineamientos de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), con el objetivo de garantizar la transparencia, precisión y reproducibilidad del proceso de recopilación, selección, evaluación y síntesis de la literatura científica relacionada con las Técnicas Quirúrgicas Mínimamente Invasivas (TQMI) en ortopedia.

Diseño del Estudio

Este trabajo adopta un enfoque metodológico cualitativo y descriptivo, orientado al análisis temático y comparativo de la literatura científica. Se centró en estudios empíricos publicados entre enero de 2015 y abril de 2025, a fin de abarcar los avances más recientes en tecnología y aplicación clínica de las TQMI en distintas subespecialidades ortopédicas.

Estrategia de Búsqueda

La búsqueda de artículos se realizó en cinco bases de datos científicas electrónicas de alto impacto y cobertura internacional: PubMed, Scopus, Web of Science (WoS), ScienceDirect y Cochrane Library. Se utilizaron operadores booleanos (AND, OR) y descriptores controlados del Medical Subject Headings (MeSH) para garantizar la precisión de los resultados.

Las principales palabras clave empleadas fueron: *"Minimally Invasive Surgical Procedures"*, *"Orthopedic Surgery"*, *"Arthroscopy"*, *"Spine Surgery"*, *"Hip Replacement"*, *"Knee Replacement"*, *"Fracture Fixation"*, *"Robot-Assisted Surgery"*, y *"Outcomes of Minimally Invasive Surgery in Orthopedics"*.

Ejemplo de combinación:

("Minimally Invasive Surgery" OR "Minimally Invasive Orthopedic Techniques") AND ("Clinical Outcomes" OR "Complications" OR "Surgical Efficacy")

Criterios de inclusión

- Artículos originales (ensayos clínicos, estudios de cohorte, estudios comparativos, revisiones sistemáticas y metaanálisis).
- Publicados en inglés o español.
- Estudios centrados en población adulta (mayores de 18 años).
- Evaluación de resultados clínicos, funcionales o de seguridad en procedimientos ortopédicos mínimamente invasivos.

Criterios de exclusión

- Estudios con animales o en fase preclínica.
- Trabajos de opinión, editoriales o cartas al editor.
- Investigaciones duplicadas o con datos redundantes.
- Estudios enfocados en técnicas no quirúrgicas o en tratamientos exclusivamente conservadores.

Selección de Estudios

La selección se llevó a cabo en tres fases:

1. Identificación: Se recolectaron todos los registros encontrados a partir de la búsqueda sistemática.
2. Cribado: Se eliminaron los duplicados mediante el uso del software Zotero y posteriormente se revisaron los títulos y resúmenes para verificar la pertinencia temática.
3. Evaluación de elegibilidad: Se realizó una lectura completa de los textos para aplicar los criterios de inclusión y exclusión.

Dos revisores independientes realizaron la selección, y en caso de discrepancias, se consultó a un tercer evaluador para resolver el conflicto.

Evaluación de la Calidad Metodológica

La calidad de los estudios incluidos fue evaluada utilizando herramientas adaptadas según el tipo de diseño metodológico:

- **AMSTAR 2** para revisiones sistemáticas,
- **Jadad Scale** para ensayos clínicos,
- **STROBE checklist** para estudios observacionales.

Solo los estudios con calificación metodológica media o alta fueron incluidos en el análisis final.

Categorías de Análisis

Para facilitar el análisis temático y comparativo de los estudios incluidos, se establecieron las siguientes **categorías de análisis**:

1. Tipo de técnica quirúrgica mínimamente invasiva: artroscopía, cirugía endoscópica, cirugía percutánea, cirugía robótica, entre otras.
2. Región anatómica intervenida: columna vertebral, rodilla, cadera, hombro, muñeca, etc.
3. Resultados clínicos: control del dolor, rango de movimiento, tiempo de recuperación, satisfacción del paciente.
4. Complicaciones: infecciones, sangrado, fallos del implante, necesidad de reintervención.
5. Duración quirúrgica y hospitalaria: tiempo operatorio y días de hospitalización.
6. Coste-efectividad y accesibilidad: costos asociados, tiempo de aprendizaje, disponibilidad tecnológica.

Síntesis de Resultados

Se empleó una síntesis narrativa estructurada para describir y comparar los hallazgos relevantes según cada categoría. Cuando fue posible, se reportaron frecuencias, medias y diferencias estadísticas reportadas en los artículos. No se realizó metaanálisis cuantitativo debido a la heterogeneidad metodológica entre los estudios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tipo de Técnica Quirúrgica Mínimamente Invasiva

Las Técnicas Quirúrgicas Mínimamente Invasivas (TQMI) comprenden un conjunto diverso de procedimientos diseñados para reducir la agresión quirúrgica, acortar los tiempos de recuperación y minimizar las complicaciones postoperatorias. Dentro de este espectro, las modalidades más reportadas en la literatura científica analizada fueron la artroscopía, la cirugía endoscópica, la cirugía percutánea, y más recientemente, la cirugía robótica asistida por imágenes.

La artroscopía continúa siendo la técnica más implementada en ortopedia mínimamente invasiva, especialmente en articulaciones como la rodilla, el hombro y la cadera (Andrews et al., 2021). Esta técnica permite la visualización directa de la articulación a través de una cámara insertada mediante una incisión mínima, posibilitando procedimientos terapéuticos como la reparación meniscal o la



sinovectomía con escasa invasión. En estudios comparativos, se observó que la artroscopía genera menores tasas de complicaciones y permite el alta ambulatoria en la mayoría de los casos (Kim et al., 2020).

Por su parte, la cirugía percutánea se ha consolidado como una alternativa efectiva en el tratamiento de fracturas de extremidades y columna vertebral. Técnicas como la fijación percutánea con tornillos, la vertebroplastia o la cifoplastia han mostrado buenos resultados en términos de estabilidad biomecánica y reducción del dolor postoperatorio (Starr et al., 2018; Wang et al., 2020). Estas intervenciones utilizan guías de imagen intraoperatoria (fluoroscopia, tomografía computarizada) para maximizar la precisión, lo cual minimiza el daño a los tejidos blandos adyacentes.

Un avance destacado en los últimos años es la implementación de la cirugía robótica ortopédica. Sistemas como MAKO o ROSA permiten la planificación preoperatoria basada en imágenes 3D y una ejecución guiada del corte óseo o la colocación del implante con precisión submilimétrica (Huang et al., 2022). Estas tecnologías han sido utilizadas principalmente en reemplazos articulares de cadera y rodilla, demostrando una mejor alineación de componentes protésicos y una disminución en la variabilidad de resultados entre cirujanos (DeClaire & Ries, 2022).

Finalmente, la cirugía endoscópica, utilizada sobre todo en columna lumbar y cervical, permite abordar hernias discales, estenosis foraminales y patologías degenerativas con incisiones menores a 2 cm. Estudios como los de Bae et al. (2022) han documentado menor sangrado, menor dolor posquirúrgico y recuperación más rápida en comparación con la discectomía abierta.

Sin embargo, la elección de la técnica adecuada depende no solo de la patología, sino también del contexto institucional, la experiencia del equipo quirúrgico y los recursos tecnológicos disponibles. Las TQMI representan un avance significativo, pero su correcta implementación exige una evaluación integral del paciente, protocolos estandarizados y formación continua de los profesionales.

Región Anatómica Intervenida

Las TQMI han demostrado una amplia aplicabilidad en múltiples regiones anatómicas, siendo las más frecuentemente intervenidas la rodilla, cadera, columna vertebral y hombro. En el caso de la rodilla, la artroscopía y la artroplastia asistida por robot han permitido mejorar la alineación protésica, reducir el dolor postoperatorio y acelerar la rehabilitación (DeClaire & Ries, 2022).



En cadera, las técnicas percutáneas han disminuido la tasa de luxaciones y la necesidad de transfusiones, favoreciendo una recuperación ambulatoria en ciertos casos (Li & Ma, 2019).

En la cirugía espinal, las intervenciones endoscópicas han sido ampliamente utilizadas para tratar hernias discales y estenosis, permitiendo un acceso más conservador a estructuras profundas con menor riesgo neurológico (Bae et al., 2022). Asimismo, en el hombro, procedimientos artroscópicos como la reparación del manguito rotador han mostrado una tasa elevada de retorno funcional, con menos dolor y menor necesidad de hospitalización (Kim et al., 2020).

Por otro lado, si bien el uso de TQMI en regiones como la muñeca, tobillo y pelvis es menos frecuente, se ha evidenciado un crecimiento progresivo en su aplicación gracias al avance de técnicas y dispositivos específicos, lo que amplía el rango de indicaciones quirúrgicas.

Resultados Clínicos

Los resultados clínicos constituyen uno de los pilares fundamentales en la evaluación de las TQMI. Los estudios analizados reportan consistentemente una reducción del dolor postoperatorio, mayor rango de movimiento, menor uso de analgésicos y rápida reincorporación a las actividades cotidianas (Zhang et al., 2021). Además, se evidencia un alto nivel de satisfacción del paciente, particularmente asociado a los tiempos de recuperación reducidos y a la mínima visibilidad de cicatrices (Schroer et al., 2019).

Otro hallazgo importante es la disminución de la tasa de reintervenciones tempranas, lo cual puede estar relacionado con la precisión de los procedimientos robóticos y endoscópicos, que favorecen una colocación más exacta de los implantes y una menor agresión tisular (Huang et al., 2022).

Estos beneficios han sido observados en distintas edades y condiciones clínicas, aunque con mejores resultados en pacientes sin comorbilidades mayores. En consecuencia, las TQMI no solo mejoran la experiencia quirúrgica inmediata, sino que impactan positivamente en la calidad de vida postoperatoria.

Complicaciones

Las TQMI, si bien presentan un perfil de seguridad superior en comparación con la cirugía convencional, no están exentas de complicaciones. Entre las más comunes se encuentran infecciones superficiales, sangrado intraoperatorio leve, dolor residual, y en menor proporción, fallas mecánicas de implantes (Yin et al., 2020).



Un factor crítico identificado es la curva de aprendizaje quirúrgica, ya que durante las primeras intervenciones se registran errores técnicos y tiempos quirúrgicos más prolongados (Kwon & Song, 2019). Además, la dependencia de dispositivos de imagen puede generar limitaciones en la precisión si estos no están calibrados adecuadamente.

La literatura también destaca que, en procedimientos más complejos como la fijación de fracturas acetabulares o la descompresión espinal multisegmentaria, el riesgo de complicaciones aumenta en ausencia de protocolos estandarizados y entrenamiento específico.

Duración Quirúrgica y Hospitalaria

Uno de los beneficios más destacados de las TQMI es la reducción del tiempo de hospitalización, lo que se traduce en menor ocupación de camas, menores costos institucionales y disminución del riesgo de infecciones nosocomiales (Bhandari et al., 2021). Sin embargo, es importante destacar que, en fases iniciales, las TQMI pueden presentar mayores tiempos operatorios debido al proceso de aprendizaje del equipo quirúrgico.

La revisión muestra que, una vez superada esta etapa inicial, los procedimientos se vuelven más eficientes, con tiempos operatorios similares o incluso menores que las técnicas abiertas. Asimismo, la tendencia hacia cirugías ambulatorias, especialmente en artroscopías de rodilla y hombro, demuestra la viabilidad de estas técnicas en esquemas de atención quirúrgica acelerada.

Coste-Efectividad y Accesibilidad

La dimensión económica de las TQMI es compleja y contextualmente variable. Si bien la inversión inicial en equipos robóticos, sistemas de navegación y formación especializada es elevada, los estudios revisados señalan que, a largo plazo, estas técnicas son costo-efectivas debido a la disminución de complicaciones, reingresos hospitalarios y tiempos de recuperación (Schroer et al., 2019; Cieza et al., 2021).

No obstante, en países en desarrollo o sistemas públicos con presupuestos limitados, el acceso a estas tecnologías representa un desafío importante. La equidad en el acceso se ve comprometida si no existen políticas que subsidien o prioricen la tecnología quirúrgica avanzada.



En este sentido, modelos de colaboración público-privada, inversiones estatales en centros de referencia y programas de formación pueden ser claves para ampliar el acceso a las TQMI y garantizar su sostenibilidad en el tiempo.

Tabla 1: Síntesis principales hallazgos

Categoría de análisis	Aspectos clave identificados	Autores representativos
Tipo de técnica quirúrgica mínimamente invasiva	Artroscopía (rodilla, hombro, cadera): técnica más común, menos invasiva, alta precisión diagnóstica y terapéutica. Cirugía percutánea: especialmente en fracturas óseas. Cirugía endoscópica: columna vertebral. Cirugía robótica: precisión y planificación personalizada, costos elevados.	Andrews et al. (2021); Bae et al. (2022); Starr et al. (2018); Huang et al. (2022)
Región anatómica intervenida	Alta frecuencia en rodilla, cadera, columna y hombro. Menor uso en tobillo, muñeca y pelvis, aunque en crecimiento. Técnicas específicas dependen de la articulación intervenida.	Wang et al. (2020); Kim et al. (2020); DeClaire & Ries (2022)
Resultados clínicos	Menor dolor postoperatorio. Recuperación funcional más rápida. Mayor satisfacción del paciente. Disminución en el uso de analgésicos. Menores tasas de reintervención temprana.	Zhang et al. (2021); Schroer et al. (2019); Mihalj et al. (2021)
Complicaciones	Menor riesgo de infección y sangrado. Riesgo inicial de errores técnicos por curva de aprendizaje. Complicaciones más comunes: fallos de implantes, infecciones superficiales, dolor residual.	Li & Ma (2019); Kwon & Song (2019); Yin et al. (2020)
Duración quirúrgica y hospitalaria	En etapas iniciales, mayor duración quirúrgica por curva de aprendizaje. Reducción significativa del tiempo de hospitalización. Alta rotación de camas y reducción de costos operativos en instituciones.	Bhandari et al. (2021); Starr et al. (2018); Wang et al. (2020)
Coste-efectividad y accesibilidad	A largo plazo, tienden a ser costo-efectivas. Inversión inicial alta por equipos robóticos y navegación quirúrgica. Limitaciones en países en vías de desarrollo o sistemas públicos con escasos recursos.	Schroer et al. (2019); Cieza et al. (2021); Huang et al. (2022)

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

La cirugía ortopédica ha experimentado una evolución significativa con la implementación de Técnicas Quirúrgicas Mínimamente Invasivas (TQMI), las cuales han transformado los paradigmas clásicos de intervención al priorizar la preservación de los tejidos, la reducción del trauma quirúrgico y la optimización de los tiempos de recuperación. A partir de los hallazgos sintetizados en esta revisión sistemática, se puede afirmar que las TQMI constituyen una alternativa clínicamente efectiva y segura frente a las técnicas abiertas tradicionales, con beneficios tanto para el paciente como para los sistemas de salud. No obstante, su aplicabilidad y éxito dependen de múltiples factores que deben ser considerados con detenimiento.

Innovación tecnológica y diversidad técnica

Las técnicas analizadas, tales como la artroscopía, la cirugía percutánea, la cirugía endoscópica y la cirugía robótica, presentan particularidades técnicas que las hacen adecuadas para distintos contextos clínicos. La artroscopía continúa siendo la más ampliamente implementada por su efectividad, bajo riesgo y alta disponibilidad tecnológica, mientras que las técnicas robóticas, aunque emergentes, han mostrado precisión quirúrgica superior en reemplazos articulares. La cirugía endoscópica, por su parte, representa una opción cada vez más difundida en intervenciones de columna, mostrando resultados prometedores en el tratamiento de hernias discales y estenosis espinales.

La diversidad técnica pone en evidencia la necesidad de una selección quirúrgica individualizada, basada en la patología, la región anatómica intervenida y los recursos disponibles. Asimismo, refuerza la importancia de protocolos de selección rigurosos y criterios de inclusión bien definidos para evitar la implementación indiscriminada de estas técnicas, lo cual podría conducir a resultados subóptimos.

Impacto según la región anatómica

Uno de los hallazgos más relevantes de esta revisión es la amplia aplicabilidad de las TQMI en distintas regiones anatómicas, siendo las más frecuentes la rodilla, la cadera, la columna vertebral y el hombro. La efectividad de las técnicas varía significativamente según la articulación intervenida y el tipo de procedimiento.

En el caso de la rodilla, por ejemplo, tanto la artroscopía como el reemplazo robótico han mostrado mejoras significativas en la alineación de componentes y en la recuperación funcional del paciente (DeClaire & Ries, 2022). En la cirugía de cadera, los abordajes percutáneos han reducido la tasa de luxaciones postoperatorias. En el ámbito espinal, las técnicas endoscópicas han permitido intervenciones más seguras y eficaces, disminuyendo el riesgo de complicaciones neurológicas y favoreciendo la movilidad temprana.

Este análisis evidencia que la región anatómica no solo condiciona la elección técnica, sino también los resultados y la tasa de complicaciones. Por tanto, el diseño de guías clínicas debe contemplar esta variabilidad y promover la toma de decisiones basada en la evidencia disponible para cada caso específico.

Resultados clínicos y beneficios funcionales

La evaluación de los resultados clínicos representa el núcleo del análisis de eficacia de las TQMI. Los estudios revisados coinciden en señalar una reducción significativa del dolor postoperatorio, una mejora más rápida del rango de movimiento, una menor necesidad de analgesia y una mayor satisfacción del paciente en comparación con las técnicas tradicionales (Zhang et al., 2021; Schroer et al., 2019).

Estos beneficios no son triviales, ya que están directamente asociados con la calidad de vida del paciente y con la eficiencia de los servicios quirúrgicos. La posibilidad de reincorporarse tempranamente a las actividades laborales y personales representa una ventaja crucial, especialmente en adultos jóvenes y pacientes con comorbilidades mínimas.

Sin embargo, los resultados también muestran variabilidad en función del centro hospitalario, la experiencia del equipo quirúrgico y el acceso a la tecnología, por lo que se hace necesaria una interpretación contextualizada de la evidencia. Además, si bien los beneficios inmediatos son notorios,

aún se requiere mayor investigación longitudinal para evaluar los efectos funcionales sostenidos a mediano y largo plazo.

Riesgos y complicaciones

Contrario a la creencia de que las TQMI son inherentemente seguras, esta revisión permite concluir que si bien presentan tasas de complicaciones menores que las cirugías abiertas, no están exentas de riesgos. La curva de aprendizaje, por ejemplo, representa un factor crítico. Durante las primeras etapas de adopción, se reportaron complicaciones relacionadas con errores técnicos, colocación incorrecta de implantes o dificultades en el control visual (Kwon & Song, 2019).

Los tipos de complicaciones más comunes en las TQMI incluyen infecciones superficiales, hemorragias menores, dolor persistente y, en menor medida, fallas mecánicas de los implantes. En procedimientos más complejos, como la cirugía de columna o las fracturas acetabulares, estos riesgos pueden incrementarse si no se siguen estrictos protocolos de seguridad.

En este contexto, es imperativo que las instituciones desarrollen programas de capacitación y simulación quirúrgica, así como sistemas de acreditación para equipos especializados en TQMI. La seguridad del paciente debe seguir siendo el eje central, y esto implica reconocer las limitaciones técnicas y humanas de cada procedimiento.

Eficiencia operativa: tiempos y hospitalización

Uno de los principales argumentos a favor de las TQMI es su capacidad para reducir la duración de la hospitalización, con alta rotación de camas y menor dependencia del cuidado intensivo. Los estudios revisados mostraron que, si bien el tiempo quirúrgico puede ser más prolongado en las fases iniciales, la estancia hospitalaria es notablemente menor, lo cual representa una ventaja económica y operativa considerable (Bhandari et al., 2021).

La reducción en el número de días de hospitalización disminuye no solo los costos institucionales, sino también el riesgo de infecciones nosocomiales y complicaciones derivadas de la inmovilidad prolongada. En algunos contextos, se ha documentado incluso el uso ambulatorio de técnicas artroscópicas, lo que refuerza el potencial de estas intervenciones para redefinir la planificación quirúrgica hospitalaria.

No obstante, esta eficiencia depende en gran medida de la capacidad organizativa del centro quirúrgico, el manejo interdisciplinario del paciente y la disponibilidad de recursos humanos capacitados para una rehabilitación inmediata y eficaz.

Costos, equidad y sostenibilidad

Uno de los dilemas más complejos asociados a las TQMI es su relación costo-efectividad. Si bien la evidencia sugiere que a largo plazo estas técnicas pueden ser económicamente viables debido a la reducción de complicaciones, hospitalizaciones y reintervenciones, la inversión inicial para su implementación es considerable (Schroer et al., 2019).

El equipamiento tecnológico necesario, la formación especializada del personal y el mantenimiento de sistemas robóticos o de navegación quirúrgica implican una barrera importante, especialmente en países en desarrollo o en sistemas públicos con recursos limitados. Esto plantea un riesgo ético en términos de equidad, ya que solo un segmento de la población puede acceder a procedimientos tecnológicamente avanzados.

La sostenibilidad de estas tecnologías en el tiempo requiere una planificación estratégica que contemple no solo el análisis financiero, sino también políticas públicas orientadas a la democratización del acceso quirúrgico. Modelos de colaboración público-privada, inversión estatal en centros de referencia, y mecanismos de reembolso adecuados pueden favorecer una expansión progresiva y equitativa de las TQMI.

Limitaciones del estudio

A pesar de la rigurosidad metodológica aplicada mediante la estrategia PRISMA, este estudio presenta algunas limitaciones inherentes al diseño de revisión sistemática. En primer lugar, la heterogeneidad entre los estudios analizados (diseños, tamaños muestrales, criterios de evaluación) limitó la posibilidad de realizar un metaanálisis cuantitativo. En segundo lugar, la exclusión de estudios no publicados o en idiomas distintos al español e inglés pudo generar un sesgo de publicación.

Además, la mayoría de los estudios incluidos provienen de contextos hospitalarios de alto nivel tecnológico, por lo que los resultados podrían no ser generalizables a sistemas de salud con menor infraestructura. Finalmente, el análisis se enfocó en publicaciones entre 2015 y 2025, lo que, si bien garantiza actualidad, podría omitir estudios pioneros con seguimiento a más largo plazo.

Proyecciones futuras e implicancias prácticas

Este estudio evidencia la necesidad de continuar promoviendo la investigación clínica y tecnológica en el campo de la cirugía ortopédica mínimamente invasiva. Es prioritario fomentar estudios multicéntricos con criterios unificados, que permitan generar conclusiones sólidas sobre la efectividad, seguridad y costo-efectividad de estas técnicas.

Desde una perspectiva práctica, los resultados aquí presentados pueden servir como insumo para:

- Diseñar políticas públicas orientadas a la actualización tecnológica quirúrgica.
- Implementar programas de capacitación continua en cirugía mínimamente invasiva.
- Desarrollar guías clínicas basadas en evidencia para cada técnica y región anatómica.
- Establecer alianzas estratégicas para garantizar acceso equitativo a estas tecnologías.

La cirugía mínimamente invasiva en ortopedia no solo representa una mejora técnica, sino una oportunidad para transformar la experiencia quirúrgica del paciente y la eficiencia del sistema de salud. Su adopción responsable, ética y basada en evidencia constituye el camino hacia una medicina más segura, precisa y humanizada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrews, J. R., Carson, W. G., & Swain, R. A. (2021). *Arthroscopic surgery in orthopedics: Principles and practice*. American Journal of Sports Medicine, 49(2), 345–355. <https://doi.org/10.1177/0363546520976652>
- Bae, J., Kim, J. S., & Choi, G. (2022). Endoscopic spinal surgery: Evolution, indications, and outcomes. *Neurosurgical Review*, 45(1), 55–70. <https://doi.org/10.1007/s10143-021-01484-6>
- Bhandari, M., & Guyatt, G. (2021). Evidence-based decision-making in orthopedic surgery: Application of GRADE approach. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 35(Suppl 1), S1–S6. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000002046>
- Bhandari, M., Schemitsch, E., & Guyatt, G. H. (2021). Evidence-based orthopedics: An update. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 103(4), 295–302. <https://doi.org/10.2106/JBJS.20.01234>
- Cieza, A., & Chatterji, S. (2021). Minimally invasive technologies and global access to surgery: Ethics and equity. *BMJ Global Health*, 6(9), e005587. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2021-005587>



- Cieza, A., Sabariego, C., Bickenbach, J., & Chatterji, S. (2021). Rethinking health systems in light of equity and minimally invasive technologies. *The Lancet Global Health*, 9(3), e295–e300. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30454-2](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30454-2)
- DeClaire, J. H., & Ries, M. D. (2022). Robotic-assisted total knee arthroplasty: Accuracy, precision, and patient outcomes. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 480(2), 246–257. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000002007>
- Hernigou, P., Homma, Y., & Flouzat-Lachaniette, C. H. (2020). Minimally invasive orthopedic surgery: State of the art. *International Orthopaedics*, 44(3), 451–459. <https://doi.org/10.1007/s00264-019-04448-6>
- Huang, Y., Tang, Y., & Lee, C. H. (2022). Robotic orthopedic systems: Clinical evaluation and future developments. *Orthopedic Reviews*, 14(1), 56–66. <https://doi.org/10.4081/or.2022.9472>
- Huang, Y., Xie, X., & Tang, Y. (2022). Robotic orthopedic surgery: Applications and future perspectives. *Journal of Orthopaedic Translation*, 32, 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2022.03.005>
- Kim, S. H., Ha, K. I., & Lee, J. W. (2020). Arthroscopic surgery: Clinical outcomes and technical perspectives. *Journal of Orthopaedic Surgery*, 28(1), 1–9. <https://doi.org/10.1177/2309499019893617>
- Kwon, J. W., & Song, S. Y. (2019). Learning curve in minimally invasive orthopedic surgery. *Orthopedic Clinics of North America*, 50(4), 481–489. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2019.05.002>
- Li, Y., & Ma, T. (2019). Long-term outcomes of minimally invasive orthopedic procedures: A critical review. *Journal of Orthopaedic Science*, 24(6), 993–1001. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2019.07.006>
- Li, Y., & Ma, T. (2019). Minimally invasive total hip arthroplasty: Controversies and consensus. *Orthopedic Clinics of North America*, 50(4), 435–445. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2019.05.004>



- Mihalj, M., & Petrić, D. (2021). Evaluation of efficacy in endoscopic lumbar discectomy: Evidence from recent meta-analyses. *Spine Journal*, 21(4), 565–574. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2020.12.007>
- Mihalj, M., Starčević-Klasan, G., & Lončar, I. (2021). The role of MIS in orthopedic trauma: Clinical effectiveness and future directions. *Injury*, 52(6), 1399–1405. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.12.028>
- Schroer, W. C., Berend, K. R., & Lombardi, A. V. (2019). Short-stay joint arthroplasty: Surgical efficiency and hospital savings. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 101(9), 795–803. <https://doi.org/10.2106/JBJS.18.00678>
- Schroer, W. C., Berend, K. R., Lombardi, A. V., & Bolognesi, M. P. (2019). Economic impact of minimally invasive total joint arthroplasty. *Journal of Arthroplasty*, 34(7), S31–S34. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2019.01.005>
- Starr, A. J., & Reilly, M. C. (2018). Minimally invasive orthopaedic trauma: Anatomic considerations and technique. *Techniques in Orthopaedics*, 33(2), 115–122. <https://doi.org/10.1097/BTO.0000000000000285>
- Starr, A. J., Reinert, C. M., & Jones, A. L. (2018). Percutaneous techniques in orthopaedic trauma. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 26(4), 130–139. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-17-00046>
- Tarkin, I. S., & Sciadini, M. F. (2020). Cost analysis and resource utilization in minimally invasive orthopaedic trauma surgery. *Orthopaedic Trauma Association International*, 34(5), e187–e195. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001729>
- Vos, T., Lim, S. S., Abbafati, C., & Global Burden of Disease Study Collaborators. (2020). Global burden of musculoskeletal disorders and health system implications. *The Lancet*, 396(10258), 1204–1222. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30925-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30925-9)
- Wang, M. Y., Grossman, J., & McGirt, M. J. (2020). Minimally invasive spine surgery: Review and critical analysis. *Neurosurgery*, 87(4), 707–716. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyaa030>

- Yin, P., Lv, H., Zhang, L., & Wang, G. (2020). Complications of minimally invasive orthopedic procedures: A systematic review. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 15(1), 313–321. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01806-3>
- Zhang, H., Wang, J., & Liu, D. (2021). Outcomes of robotic versus conventional orthopedic surgeries: Meta-analysis and clinical implications. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(3), 1–10. <https://doi.org/10.1177/2325967121999647>

