

**Beneficios de la neuronavegación en procedimientos de escoliosis y tumores espinales:**

**Una revisión bibliográfica.**

Clara Stefany Murillo Murillo

Marian Johanna Volveras Delgado

Instrumentación Quirúrgica

Universidad Santiago de Cali

2023B

**Tutora:** Mg. Beatriz Alejandra Maldonado Rincón

**Resumen**

**Introducción:** Las especialidades quirúrgicas en la actualidad se han beneficiado de las innovaciones tecnológicas destacando la implementación de la neuronavegación, ofreciendo importantes beneficios a los pacientes y a los equipos quirúrgicos, lo que la convierte en una opción fundamental en estas áreas de la medicina.

**Metodología:** Este artículo explora el impacto de la neuronavegación en la atención médica al ofrecer soluciones a complicaciones intraoperatorias, proporcionando ventajas significativas en términos de la seguridad del paciente y la aceleración del proceso de recuperación. Se llevó a cabo una revisión bibliográfica que abarca los últimos cinco años, identificando un total de 32 publicaciones a través de motores de búsqueda como Scopus, Pubmed, Scielo, Oxford, Springer, ScienceDirect y repositorio Google Académico.

## Neuronavegación en escoliosis y tumores espinales

**Resultados:** En los resultados fue posible evaluar la eficacia y seguridad de la neuronavegación, determinando las ventajas y limitaciones e identificando las complicaciones asociadas a su uso. La neuronavegación resulta ser una tecnología novedosa y eficaz para la realización de cirugías guiadas por imagen en la que el neurocirujano puede observar en tiempo real la situación del instrumental quirúrgico, así como cada una de sus maniobras sobrepuestas a reconstrucciones tridimensionales de imágenes de la columna vertebral.

**Conclusiones:** La neuronavegación ha demostrado ser una herramienta valiosa en la cirugía de columna, mejorando la precisión y la seguridad en una variedad de procedimientos, aunque se deben considerar sus limitaciones y las posibles complicaciones asociadas.

**Palabras clave:** Neuronavegación, escoliosis, tumores espinales, columna vertebral, cirugía mínimamente invasiva.

### Abstract

**Introduction:** Surgical specialties have currently benefited from technological innovations, highlighting the implementation of neuronavigation, offering important benefits to patients and surgical teams, making it a fundamental option in these areas of medicine.

**Methodology:** This article explores the impact of neuronavigation on healthcare by offering solutions to intraoperative complications, providing significant advantages in terms of patient safety and acceleration of the recovery process. A bibliographic review covering the last five years was carried out, identifying a total of 32 publications through search engines such as Scopus, PubMed, Scielo, Oxford, Springer, ScienceDirect and Google Scholar repository.

**Results:** In the results it was possible to evaluate the effectiveness and safety of neuronavigation, determining the advantages and limitations and identifying the complications associated with its use. Neuronavigation turns out to be a novel and effective technology for performing image-guided surgeries in which the neurosurgeon can observe in real time the situation of the surgical instruments, as well as each of their maneuvers superimposed on three-dimensional reconstructions of images of the spinal column.

**Conclusions:** Neuronavigation has proven to be a valuable tool in spine surgery, improving precision and safety in a variety of procedures, although its limitations and potential associated complications must be considered.

**Key words:** Neuronavigation, scoliosis, spinal tumors, spine, minimally invasive surgery.

### **Introducción:**

Los avances en el campo quirúrgico se han caracterizado por la constante actualización tecnológica en diversos procesos y procedimientos, lo que ha conducido a una modernización continua en el ámbito de la salud. En los últimos años, las especialidades quirúrgicas han aprovechado la innovación tecnológica, destacándose en la implementación de la neuronavegación como una herramienta invaluable en el tratamiento de patologías quirúrgicas como la resección de tumores espinales y la corrección de la escoliosis. La neuronavegación ofrece ventajas significativas tanto para los pacientes como para el equipo quirúrgico, lo que la convierte en una opción fundamental en estas áreas médicas. Este artículo analiza como la neuronavegación ha revolucionado la atención medica al proporcionar soluciones a complicaciones intraoperatorias, como mejorar la seguridad del paciente y ofrecer una recuperación más rápida y cómoda, también la reducción de

## Neuronavegación en escoliosis y tumores espinales

la pérdida sanguínea, menor exposición a la radiación, estancias hospitalarias más cortas y un mejor control del dolor. (1,2)

El primer sistema de navegación espinal fue desarrollado por C. Woroschiloff en 1874. A partir de allí, se han desarrollado sistemas de neuronavegación independientemente como en Estados Unidos, Japón y Alemania, lo que ha llevado a obtener avances significativos en el campo de la neurocirugía. La neuronavegación se ha convertido en una técnica esencial tanto para el diagnóstico como para el tratamiento de los pacientes neuroquirúrgicos. Sin embargo, la columna vertebral sigue siendo un desafío significativo en cirugía. Un estudio clínico realizado por el autor *Strong. et al.* en el 2021 (3), reveló que el 68% de los cirujanos encuestados informó que se habían encontrado en una ubicación incorrecta durante el abordaje quirúrgico. Además, aproximadamente 1 de cada 2 cirujanos de columna ha realizado una intervención de nivel incorrecto, lo que representa un riesgo para los pacientes.

La neuronavegación se presenta como una solución efectiva para la corrección de la escoliosis, permitiendo una intervención oportuna y eficaz (4) Como opción de tratamiento se utilizan los implantes quirúrgicos denominados tornillos pediculares, que ayudan en la estabilidad de la columna, el uso de la neuronavegación guiados en tiempo real da como resultado un alto nivel de precisión en los aspectos óseos, siendo posible determinar el punto en el que debe hacerse la intervención (5). Según el autor *Wang. et al.* en un estudio realizado en el 2018 (6), evidenció una tasa de precisión en la colocación de tornillos pediculares del 88.7 % utilizando la técnica de mano alzada en comparación con el 96.9 % cuando se utilizaron sistemas de navegación. Brown, et al. (4) Han dado a conocer en su estudio que la navegación intraoperatoria con brazo en O llamado O-ARM produce una precisión del 99% en la colocación de los tornillos pediculares a diferencia del método a mano alzada que fue del 94.1%

## Neuronavegación en escoliosis y tumores espinales

En el caso de la presencia de tumores benignos o malignos en la columna vertebral, trae una connotación más compleja debido al margen que hay que resear, los tumores suelen tener formas irregulares, lo que dificulta entender su extensión completa y lograr una resección máxima, incluso distorsionan y destruyen la anatomía normal, recubriendo estructuras neurovasculares críticas, lo que implica un desafío para una resección segura. La cirugía busca la descompresión neural y la reducción del tumor para mejorar la función neurológica y restaurar la estabilidad espinal. (7) Los avances en las intervenciones quirúrgicas con la neuronavegación han contribuido a la preservación del tejido muscular circundante, en Estados Unidos se estima que el 75% de los aproximadamente 1.2 millones de procedimientos realizados en cada año, se realizan utilizando la neuronavegación. (8)

El objetivo de esta revisión es analizar los beneficios de la neuronavegación en procedimientos de escoliosis y tumores espinales mediante un análisis exhaustivo de la literatura científica y médica, explorando los avances y contribuciones de esta tecnología. Además, se analizarán las ventajas y limitaciones de la neuronavegación en comparación con otras técnicas y tecnologías utilizadas en la resección de tumores espinales y la corrección de escoliosis, así como las complicaciones que puedan surgir en relación con el empleo de esta tecnología.

### **Materiales y Métodos**

Para la realización de esta revisión bibliográfica, se realizó la recopilación de un amplio conjunto de artículos considerados esenciales para una comprensión detallada de los beneficios de la neuronavegación en la extirpación de tumores espinales y la corrección de escoliosis. Para garantizar una evaluación objetiva y documentada de la información obtenida, se procedió a organizar los artículos de interés en una matriz de rastreo.

## Neuronavegación en escoliosis y tumores espinales

De acuerdo con estos planteamientos surge la formulación de la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué tan beneficioso es la utilización de la neuronavegación en procedimientos de escoliosis y resección de tumores espinales?

De acuerdo con los objetivos y la pregunta de investigación planteados, se comenzó a establecer palabras claves verificadas en MeSH y DeCS para luego realizar ecuaciones de búsqueda incluyendo los operadores booleanos, con el apoyo de metabuscadores como Pubmed, ScienDirect, Oxford, Springer, Scopus, Scielo y repositorio Google Académico. De las cuales se elaboraron las siguientes ecuaciones de búsqueda:

- “Neuronavegation” AND “Spinal tumors”
- “Neuronavegation” AND “Scoliosis”
- “Advantages and limitations of neuronavigation” +” Advantages and limitations of conventional surgery”
- “Neuronavigation safety” OR “Neuronavigation complications”

Para la selección de los artículos se consideraron los siguientes criterios de selección:

### **Criterios de inclusión:**

- Literatura que incluya en sus estudios población intervenida quirúrgicamente en procesos de escoliosis o presencia de tumor espinal, empleando la neuronavegación.
- Artículos que contengan información de pacientes sometidos a procedimientos de cirugía abierta vs cirugía con ayuda de la neuronavegación.
- Artículos que refieran ventajas y seguridad al usar el neuronavegador.

## Neuronavegación en escoliosis y tumores espinales

- Publicaciones que mencionen las complicaciones relacionadas con la utilización de la neuronavegación.

### **Criterios de exclusión:**

- Artículos que solo mencionan a pacientes sometidos a cirugía de revisión de columna.
- Publicaciones duplicadas en varias bases de datos.
- Artículos que mencionan intervenciones en el área cerebral mas no en columna.

Teniendo en cuenta los criterios de inclusión se obtuvieron 32 artículos y de exclusión 25 artículos con un total de 57, de los cuales 15 son en español y 42 en inglés, publicados entre los años 2019 al 2023, con información concisa y actualizada de las siguientes fuentes:

- Scopus: 7
- Pubmed: 21
- Scielo: 3
- Oxford: 2
- Springer: 8
- Sciencedirect: 14
- Google Académico: 2

Como resultado del análisis de los documentos obtenidos en la revisión bibliográfica se obtuvieron los siguientes resultados, de acuerdo con cada uno de los objetivos específicos planteados:

### **Resultados**

### **Eficacia y seguridad de la neuronavegación empleada en la columna vertebral**

La neuronavegación ha contribuido en la seguridad y precisión de los procedimientos en la columna vertebral, como se evidencia en el artículo de Huntsman, et al. (9) En el cual se menciona el análisis de la colocación de 9000 tornillos pediculares, dando como resultado que la fluoroscopia tradicional tenía una precisión del 63.1%, la navegación bidimensional con el 84.3% y la navegación en imágenes tridimensionales (3D) era más precisa con un 95.5%, concluyendo con esto que la neuronavegación proporciona una mayor seguridad y eficacia.

Un estudio experimental realizado en Italia en el 2021, por el autor *La Rocca. et al.* (1) registró que habían intervenido 49 pacientes (22 hombres y 27 mujeres), con una edad promedio entre 42 a 80 años y se les implantaron un total de 230 tornillos pediculares. La duración de la estancia hospitalaria fue de dos a cinco días y ningún paciente presentó signos clínicos postoperatorios como entumecimiento o dolor. El artículo refiere que la trayectoria fue perfecta en 221 tornillos de los 230 tornillos implantados cuando se utilizó la neuronavegación.

El autor Conrads, et al. (10) en un estudio realizado en Alemania reportó que el 85.5% de habitantes mayores de 50 años sufren problemas de la columna vertebral, en este caso se utilizó el neuronavegador de brazo en forma de O llamado O-ARM, para dicha cirugía, se eligió la inestabilidad espinal por problemas degenerativos, relacionados con tumores en regiones torácicas y lumbares, esto se realizó entre el año 2010 al 2015 y se intervinieron 285 pacientes con instrumentaciones de varilla roscada dorsal. Se incluyeron 1.704 tornillos de los cuales el 95.1% estuvieron en una excelente posición, aunque el 3.6% presentaron un margen de error en que sobresalían del borde lateral del pedículo. La recuperación de los pacientes fue del 82.1% y manifestaron una mejoría del dolor de espalda o piernas.

## Neuronavegación en escoliosis y tumores espinales

La neuronavegación en la columna vertebral, se ha centrado en la precisión y seguridad de la inserción de tornillos pediculares, pero también se puede utilizar para navegar por implantes y dispositivos como cajas intersomáticas, osteotomías y perforadores, lo que hace que su uso sea más amplio en el quirófano, evaluando la aplicación en técnicas más complejas como, osteotomías en cirugías de deformidades. En la investigación de Massaad, la fusión intersomática lumbar lateral (LLIF) se realizó en 63 pacientes sometidos para 117 niveles espinales, colocando cajas intersomáticas en la parte anterior o media de 115 espacios discales evidenciando que una trayectoria de la caja era precisa en 116/117 niveles. En 214 pacientes tratados con abordajes de fusión intersomáticas oblicua en San Francisco demostró, una alta precisión en la colocación de la caja en 94.86% con navegación. (11)

La hemivértebra, es la falta de formación de un cuerpo vertebral, que puede provocar una curvatura anormal de la columna. El tratamiento oportuno, es esencial para evitar la progresión de dicha deformidad, el uso de la neuronavegación da como resultado un alto nivel de precisión, así como una menor exposición a la radiación. Para llegar a esta conclusión, Fisahn, et al. (12) realizaron un seguimiento en cuatro pacientes, dos de ellos recibieron tomografía computarizada (TC) y fluoroscopia intraoperatoria (Rayos X), y en los otros dos con brazo en forma de O llamado O-ARM. De esta manera, se determinó que el sistema, no solo es un enfoque quirúrgico preciso, sino también, que puede reducir significativamente la exposición a la radiación.

La osificación torácica del ligamento amarillo (TOLF), causa estenosis del canal espinal, el tratamiento conservador, no suele ser eficaz, debido a que la enfermedad progresa lentamente, por lo tanto, la descompresión debe realizarse lo antes posible, los métodos tradicionales, brindan una solución incompleta o excesiva. Al utilizar la neuronavegación, en la investigación de Wang, et al. (13) 64 pacientes se sometieron a cirugía con éxito, donde se evidenció una precisión alta,

## Neuronavegación en escoliosis y tumores espinales

resolviendo el problema de identificación anatómica, mejorando en la operación, la seguridad y eficacia enormemente.

### **Ventajas y limitaciones de la neuronavegación en comparación con otras técnicas y tecnologías empleadas en la resección de tumores espinales y escoliosis**

La neurocirugía ha dependido tradicionalmente de la utilización de imágenes de diagnóstico, como los rayos X imágenes bidimensionales (2D), el uso de angiografía, tomografía computarizada y resonancia magnética. Con el tiempo, la implementación de los sistemas de navegación, guiados por imágenes se convierte en una herramienta útil, para ayudar en el manejo intraoperatorio, de enfermedades neuroquirúrgicas. Las técnicas y tecnologías modernas se tienen en cuenta, para comparar si los métodos convencionales, son realmente eficaces al abordar estas estructuras y si ofrecen ventajas frente a los métodos tradicionales. Sin embargo, se advierten limitaciones como es el caso de que la neuronavegación se ha convertido en una modalidad rutinaria en los países de ingresos más altos, pero todavía no se ha implementado en los países de bajos recursos, debido a las limitaciones de costos. (10,14)

Un informe realizado en el año 2022 en Estados Unidos dio a conocer las precisiones en la colocación de tornillos pediculares utilizando diferentes tecnologías. Fluoroscopia convencional 68%, navegación fluoroscopia bidimensional 84%, navegación tridimensional 95%. El uso de la navegación asistida ha demostrado, que aumenta la precisión de la instrumentación, y minimiza las fallas asociadas con el hardware mal colocado, lo cual demuestra las ventajas de utilizar la neuronavegación en comparación con las otras tecnologías. En el estudio de Sharma, et al. (15) la investigación en fusión espinal se dividió en dos grupos, con navegación y sin ella. Dando como resultado un mayor uso de la navegación, con tasas más bajas de fusiones intervenidas,

## Neuronavegación en escoliosis y tumores espinales

garantizando una mejor posición, y si presenta alguna falla puede detectarse intraoperatoriamente.

La adopción de esta tecnología se asocia a una tasa de reducción en perforación pedicular del 4.6% en comparación con los métodos convencionales que dio como cifra el 13.4%.

En un estudio comparativo realizado por Mao, et al. (16) entre la robótica y la neuronavegación, se considera que la robótica en cirugía de columna ha dado buenos resultados en la precisión y en la eliminación del error humano y que el desarrollo de la neuronavegación y la robótica es un avance tecnológico que permite realizar una cirugía de columna de forma más segura. En este estudio se organizaron 2 grupos incluyendo la neuronavegación con brazo en forma de O llamado O-ARM y el otro por el robot Mazor X, teniendo en cuenta etiologías degenerativas, infecciosas, oncológicas y traumáticas. En 46 pacientes donde se utilizó el neuronavegador O-ARM, se implantaron 347 tornillos de los cuales el 94,81% se consideraron aceptables. y en 39 pacientes que se le implantaron 318 tornillos a través del robot Mazor X, el 97.5% obtuvieron el mismo resultado. Al comparar estos 2 casos hubo mayor tendencia hacia la asistencia robótica, aunque no fue tan relevante, estableciendo que la neuronavegación no ofrece ventaja significativa frente a la robótica.

Por otra parte, el autor Henegar, et al. (17) menciona que la ecografía intraoperatoria tridimensional (3D-iUS) en cirugía de columna, ofrece la posibilidad de actualizar la navegación y controlar la calidad en línea de forma inmediata, que se ha aplicado en diversas patologías como la resección de tumores espinales, la combinación de 3D-iUS con la navegación ha logrado buenos resultados debido a que permite visualizar claramente la extensión del tumor y las estructuras circundantes, la ecografía permite confirmar la resección completa.

Según un estudio realizado por Meyer, et al. (18) se plantea que cuando se presenta metástasis espinales, aumenta el riesgo de accidentes operatorios, pero gracias a la nueva tecnología se ha

## Neuronavegación en escoliosis y tumores espinales

vuelto viable el tratamiento, convirtiéndose en una buena opción frente a la cirugía abierta. El uso de la cirugía mínimamente invasiva permite la planificación intraoperatoria, proporcionando una reconstrucción del recorrido de las incisiones y trayectorias que se van a realizar. En el tratamiento de los tumores espinales se ha experimentado avances significativos, en el sentido de que los pacientes pueden tener una recuperación más rápida y en menor tiempo, siendo esto un avance positivo al reducir el uso prolongado de antibióticos. La cirugía mínimamente invasiva permite llegar a lugares de difícil acceso, siendo esto una ventaja significativa frente a otras metodologías. (19)

La escoliosis idiopática, es un trastorno espinal común que tiene una prevalencia del 2% al 3% en todo el mundo, en la cual el tratamiento y su procedimiento tiene como finalidad la corrección de la deformidad, restablecer el equilibrio, lograr una artrodesis sólida, (20) y para esto se realiza la cirugía de fusión espinal posterior abierta, que se ha considerado como el procedimiento quirúrgico estándar, pero tiene algunas complicaciones como una gran pérdida de sangre, estancias hospitalarias más largas, dolor posoperatorio y riesgo de infección. Las técnicas de cirugía mínimamente invasiva, como la neuronavegación espinal, se han convertido en un tratamiento eficaz en estos defectos, aún más cuando se habla de población adulta, debido a que trae consigo un beneficio de reducir el daño tisular y menor sangrado, lo que le concede una importante ventaja frente a la fusión espinal posterior abierta. (21)

Entre las limitaciones de la neuronavegación, se destaca el hecho de que la navegación espinal, aunque cada vez se está convirtiendo en una alternativa más convencional en poblaciones con deformidades degenerativas y que actualmente se explora como opción de tratamiento para el cáncer de columna, presenta cierta limitación. La finalidad de la cirugía de metástasis en columna es ayudar a la estabilización instrumentada y a la descompresión metastásica, no obstante, existe

## Neuronavegación en escoliosis y tumores espinales

una limitación en estos casos, en el sentido de que la citorreducción o la resección total macroscópica tiene una función muy limitada debido a los márgenes a intervenir. (22)

Cuando se abordan tumores sacros y pélvicos, suelen presentarse complicaciones debido a las estructuras cercanas, los tumores grandes pueden afectar en la visualización de los planos de disección. Un estudio realizado por Jeys, et al. (11) informó, que la primera aplicación de la navegación de la sacrectomía parcial, fueron sometidos tres pacientes, en una resección de cordomas sacros, donde se utilizó, un perforador navegador, para visualizar la trayectoria de la osteotomía en tiempo real, evidenciando una ventaja al disminuir el riesgo de complicaciones. También describió una tasa de resección intralesional del 9% en 23 tumores sacros primarios, utilizando navegación en comparación con el 29% sin navegación, lo cual igualmente evidencia una ventaja significativa al disminuir considerablemente la resección intralesional.

Se evidencia igualmente esta ventaja en el estudio de Kelly, et al. (23) donde se demuestra que la neuronavegación puede definir el plano de disección y ubicación de la osteotomía, minimizando así el alcance de la resección quirúrgica, garantizando de esta manera, una resección ósea adecuada al enfrentar una anatomía desafiante. Una de las primeras series de navegación en este estudio, de cirugía en tumores de columna informó, la colocación exitosa de tornillos, la localización y escisión del tumor en 7 pacientes con tumores de columna tanto primarios como metastásicos a los 18 meses de seguimiento no habían producido ninguna lesión radicular.

En el estudio de La Rocca, et al. (1) se reportan algunas limitaciones, el cual se realizó en un pequeño número de pacientes y únicamente en patología lumbosacra degenerativa. Se evidencia que existe el riesgo de que la guía de broca se deslice durante la inserción de la aguja de Kirschner, donde el riesgo es mayor en los casos en que hay espolones óseos facetarios. Aunque este inconveniente no afecta a la técnica abierta, la ergonomía del taladro eléctrico de baja velocidad y

alto torque requiere cuatro manos para perforar el pedículo, siendo esto una limitación del procedimiento.

### **Complicaciones asociadas al uso de la neuronavegación**

Al realizar la revisión de los artículos, no se han encontrado efectos secundarios o adversos relacionados directamente al uso de la neuronavegación, sin embargo, se evidencian posibles complicaciones físicas postoperatorias que dependen de muchos factores ajenos a esta metodología tecnológica, que se relacionan con la intervención quirúrgica, la lesión o patología y el organismo del paciente. Dichas complicaciones suelen ser fiebres sin foco o infecciones de la herida quirúrgica, las cuales son muy comunes en este tipo de intervenciones.

Como complicaciones postoperatorias, se consideran la pseudoartrosis, el fracaso del implante, lesión neural, reintervenciones o cirugía adicional e infección. Según el autor, Neradi, et al. (24) en un estudio realizado en 109 pacientes en corrección de escoliosis, evidenció que las complicaciones relacionadas con los implantes, como fallo del hardware, fueron mayores al utilizar el neuronavegador que cuando se abordan en cirugía abierta.

También, una de las complicaciones, relacionadas con el uso de la neuronavegación, es la alta incidencia de fractura pedicular por la perforación, en otros casos, donde los pacientes presentan incomodidad, por el dolor que causa la fijación del sistema de neuronavegación en la cresta iliaca, lo cual se presentan debido a que los pacientes sufren de osteoporosis. (25)

Otra complicación se presenta cuando hay inestabilidad atlantoaxial y se requiere de fijación quirúrgica debido a la proximidad de la medula espinal, lo cual se considera un reto quirúrgico. Ya que la lesión de la arteria vertebral en C2 es una estructura que puede provocar complicaciones, la neuronavegación reporta falla en esta intervención de 1 a 11%. (26)

## **Discusión**

Al realizar la revisión de cada uno de los artículos que fueron seleccionados según los criterios de inclusión definidos, se puede mencionar que la tecnología de neuronavegación, es una alternativa que beneficia la corrección de escoliosis y resección de tumores espinales, ya que la tecnología se basa en la utilización de imágenes tridimensionales (3D), las cuales dan una imagen del campo quirúrgico y de la instrumentación en tiempo real y en los tres planos de la intervención como son: sagital, coronal, transversal. Con esta tecnología se logra identificar la anatomía del área a intervenir con relación a los instrumentos quirúrgicos, dando mayor precisión en la manipulación y reduciendo riesgo de complicaciones intraoperatorias. (27)

Se corrobora esta consideración en el estudio de Perdomo-Pantoja, et al. (10) en un metaanálisis que realizó, sobre la precisión de la colocación de tornillos pediculares, con diferentes técnicas demostró, que la mayor precisión se obtiene con la neuronavegación. Al igual que el autor Chan, et al. (10) demostró que las tasas de rotura de tornillos son menores con la navegación que con los métodos de mano alzada.

Sin embargo, el autor Katz, et al. (28) y el autor Wagner, et al. (29) coinciden en que los pacientes, sometidos a una cirugía con neuronavegación, tienen una mayor probabilidad de reintervenciones, con estancias hospitalarias y tiempos operatorios más prolongados.

Para el autor Meyer, et al. (18) la implementación de la neuronavegación puede tener inconvenientes, en cuanto al costo del equipo, ya que se requiere de una inversión económica, y capacitación al personal. También menciona, que la duración de los procedimientos tarda más en realizarse por la necesidad de una precisión meticulosa, por el uso de instrumentos especializados, afectando los horarios del quirófano.

## Neuronavegación en escoliosis y tumores espinales

Fisahn et al, (12) en su estudio donde reportan la primera utilización pediátrica conocida del sistema de navegación de haz cónico (CBNS) para la resección de hemivértebras y espondilodosis en paciente con escoliosis congénita, se sometió con éxito a una corrección quirúrgica utilizando la tecnología de neuronavegación con el brazo O-ARM, consiguiendo el restablecimiento del ángulo de Cobb.

En la misma investigación, se reporta que después de cuatro exposiciones a la radiación de pacientes pediátricos diferentes (dos recibieron corrección a través de la plataforma O-ARM y dos a través del método tradicional que emplea fluoroscopia), se demostró una reducción en la exposición a la radiación utilizando el sistema neuronavegador. De tal manera que se evidenció que al utilizar la plataforma CBNS con tecnología de neuronavegación, no sólo puede aumentar la precisión quirúrgica sino también disminuir la exposición a la radiación del paciente pediátrico, ya que no es necesaria una tomografía computarizada preoperatoria. (12)

De igual manera, se demuestran beneficios y ventajas al utilizar la neuronavegación en el estudio de Montemurro et al, (30) donde exponen que los exoscopios como método neuronavegador, son una alternativa segura y eficaz o un complemento al microscopio quirúrgico binocular existente para cirugía compleja de la columna cervical y lumbar, encontrando que la tasa global de complicaciones quirúrgicas fue del 2,6% durante el uso de la neuronavegación, demostrando que esta técnica parece ser una alternativa segura frente al microscopio operatorio para los procedimientos más comunes de columna, con varias ventajas que se han alcanzado, como una mayor simplicidad de uso y una mejor visión de imágenes tridimensionales (3D) y magnificación del campo quirúrgico. Además, de que ofrece la oportunidad de una mejor interacción con otros miembros del personal quirúrgico, marcando el primer paso para cambios posteriores y a corto

## Neuronavegación en escoliosis y tumores espinales

plazo en el campo de la neurocirugía y ofrecen nuevas posibilidades educativas para los jóvenes estudiantes de neurocirugía y medicina.

Por otra parte, para el autor, Yamada, et al. (31) y Sarwahi, et al. (32) refieren que la técnica de mano alzada es rentable y evita efectos nocivos de exposición a la radiación durante la intervención, también, acorta la duración de la cirugía, reduciendo la incidencia de infección del sitio quirúrgico en procedimientos que involucran instrumentación espinal. De igual manera, la técnica de mano alzada logra el mismo nivel de precisión en la inserción de tornillos toracolumbares que cuando se utiliza la neuronavegación, en un 93.6% con una tasa menor de revisión en cirugía de corrección de escoliosis.

### **Conclusiones**

Estos casos referenciados demuestran entonces la evidencia de que a pesar de que pueden presentarse algunas complicaciones en la utilización de la neuronavegación, los beneficios son muy significativos y las ventajas, aunque con pocas limitaciones, resultan ser muchas y muy favorables frente a los métodos tradicionales del tratamiento quirúrgico de la corrección de la escoliosis y resección de tumores espinales.

La neuronavegación es un complemento seguro para la cirugía de columna. Ofrece las ventajas de una menor exposición a la radiación, una exposición quirúrgica menos invasiva y puede ser más precisa en comparación con otras técnicas tradicionales como de mano alzada; sin embargo, existen algunos errores inherentes al utilizar el sistema, pero sin mayor importancia clínica. Estudios e investigaciones adicionales pueden mejorar la precisión y confiabilidad de este sistema. Esta tecnología innovadora continúa impregnando el campo de la cirugía de columna, ofreciendo ventajas potenciales. Sin embargo, existe una curva de aprendizaje desafiante y varios factores

## Neuronavegación en escoliosis y tumores espinales

técnicos de estos sistemas se reevalúan continuamente para mejorar la eficiencia operativa y alcanzar estos objetivos. Mantener el equilibrio clínico con los métodos establecidos de colocación de tornillos, incluida la colocación de tornillos a mano alzada y diversas formas de navegación, será importante para una mayor adopción de estos sistemas de neuronavegación.

La cirugía de columna está experimentando una transformación importante hacia un paradigma mínimamente invasivo. Este cambio está siendo impulsado por múltiples factores, incluida la necesidad de abordar los problemas de columna en una población de mayor edad y más enferma, así como cambios en las preferencias de los pacientes y los patrones de reembolso. Cada vez más, se utilizan técnicas quirúrgicas mínimamente invasivas en lugar de los abordajes abiertos tradicionales debido a los importantes avances y la implementación de tecnologías de navegación e imágenes intraoperatorias. Sin embargo, en algunos pacientes, debido a factores anatómicos o patológicos específicos, las técnicas mínimamente invasivas no siempre son posibles. Se han descrito numerosos enfoques y técnicas únicos de neuronavegación y varios de ellos se han vuelto fundamentales, de tal manera que los investigadores están evaluando combinaciones de técnicas de neuronavegación para mejorar aún más el flujo de trabajo quirúrgico, la seguridad del paciente y la eficiencia.

### **Referencias Bibliográficas:**

1. La Rocca G, Mazzucchi E, Pignotti F, Nasto LA, Galieri G, Rinaldi P, et al. Navigated, percutaneous, three-step technique for lumbar and sacral screw placement: a novel, minimally invasive, and maximally safe strategy. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*. 2023;24(1).
2. Ganguly R, Minnema A, Singh V, Grossbach A. Retrospective analysis of pedicle screw accuracy for patients undergoing spinal surgery assisted by intraoperative computed tomography (CT) scanner AIRO® and BrainLab© navigation. *Clin Neurol Neurosurg*. 2020 Nov 1;198:106113.
3. Strong MJ, Santarosa J, Sullivan TP, Kazemi N, Joseph JR, Kashlan ON, et al. Pre- And intraoperative thoracic spine localization techniques: a systematic review. Vol. 36, *Journal of Neurosurgery: Spine*. American Association of Neurological Surgeons; 2022. p. 792–9.

4. Brown NJ, Shahrestani S, Kurtz JS, Beyer RS, Pham MH, Osorio J. Successful use of stereotactic navigation in posterior spinal fusion T10-S2 with bilateral iliac screw fixation in a patient with prior spinal surgeries and osteoporosis: A case report. *Int J Surg Case Rep.* 2022 Aug 1;97:107380.
5. Farber SH, Pacult MA, Godzik J, Walker CT, Turner JD, Porter RW, et al. *Robotics in Spine Surgery: A Technical Overview and Review of Key Concepts.* Vol. 8, *Frontiers in Surgery.* Frontiers Media S.A.; 2021.
6. Wang Y, CK, CH et al. Comparación entre la fusión intersomática lumbar posterior navegada con mano libre y con brazo en forma de O en cohortes de ancianos con enfermedad degenerativa lumbar de tres niveles. 2019 [cited 2023 Oct 12]; Available from: <https://doi.org/10.1007/s00264-018-4005-9>
7. Tigchelaar SS, Medress ZA, Quon J, Dang P, Barbery D, Bobrow A, et al. Augmented Reality Neuronavigation for En Bloc Resection of Spinal Column Lesions. *World Neurosurg.* 2022;167:102–10.
8. Goldberg JL, Härtl R, Elowitz E. Minimally Invasive Spine Surgery: An Overview. *World Neurosurg.* 2022 Jul 1;163:214–27.
9. Huntsman KT, Ahrendtsen LA, Riggelman JR, Ledonio CG. Robotic-assisted navigated minimally invasive pedicle screw placement in the first 100 cases at a single institution. *J Robot Surg.* 2020 Feb 1;14(1):199–203.
10. Conrads N, Grunz JP, Huflage H, Luetkens KS, Feldle P, Grunz K, et al. Accuracy of pedicle screw placement using neuronavigation based on intraoperative 3D rotational fluoroscopy in the thoracic and lumbar spine. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023 Jun 1;143(6):3007–13.
11. Massaad E, Shankar GM, Shin JH. Novel Applications of Spinal Navigation in Deformity and Oncology Surgery-Beyond Screw Placement. *Operative Neurosurgery.* 2021 Jul 1;21:S23–38.
12. Fisahn C, Lindemann C, Burgess B, Strube P, Zippelius T. Lumbar hemivertebra resection in congenital scoliosis utilizing cone-beam navigation: less radiation, more accuracy-proof of concept. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00381-021-05055-5>
13. Wang ZW, Wang Z, Fan XW, Du PY, Sun JY, Ding WY, et al. Precise Surgical Treatment of Thoracic Ossification of Ligamentum Flavum Assisted by O-Arm Computer Navigation: A Retrospective Study. *World Neurosurg.* 2020 Nov 1;143:e409–18.
14. Kaale AJ, Rutabasibwa N, McHome LL, Lillehei KO, Honce JM, Kahamba J, et al. The use of intraoperative neurosurgical ultrasound for surgical navigation in low- And middle-income countries- And initial experience in Tanzania. *J Neurosurg.* 2021 Feb 1;134(2):630–7.
15. Sharma M, USA, HJ et al. Trends and Long-term Health Care Utilization of Computer-assisted Neuronavigation in Spine Fusions: An Exact Matched Analysis of National Administrative Database. 2022;
16. Mao G, GMJ, MD et al. Single-Surgeon Direct Comparison of O-arm Neuronavigation versus Mazor X Robotic-Guided Posterior Spinal Instrumentation. 2020;

17. Saß B, Bopp M, Nimsky C, Carl B. Navigated 3-Dimensional Intraoperative Ultrasound for Spine Surgery. *World Neurosurg.* 2019 Nov 1;131:e155–69.
18. Meyer M, Farah K, Aurélie T, Graillon T, Dufour H, Fuentes S. Management of Spinal Metastasis by Minimally Invasive Surgical Techniques: Surgical Principles and Indications—A Literature Review. Vol. 12, *Journal of Clinical Medicine*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2023.
19. Carrascosa-Granada A, Garríguez Perez D, Vargas-Jiménez A, Luque Perez R, Martínez-Olascoaga DO, Pérez González JL, et al. The role of minimally invasive spine surgery in the treatment of vertebral metastasis (part 1): A clinical review. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol.* 2023;
20. Beauchamp EC, Anderson RCE, Vitale MG. Modern Surgical Management of Early Onset and Adolescent Idiopathic Scoliosis. Vol. 84, *Clinical Neurosurgery*. Oxford University Press; 2019. p. 291–304.
21. Yang H, Jia X, Hai Y. Posterior minimally invasive scoliosis surgery versus the standard posterior approach for the management of adolescent idiopathic scoliosis: an updated meta-analysis. Vol. 17, *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. BioMed Central Ltd; 2022.
22. Barzilai O, Bilsky MH, Laufer I. The Role of Minimal Access Surgery in the Treatment of Spinal Metastatic Tumors. *Global Spine J.* 2020 Apr 1;10(2\_suppl):79S-87S.
23. Kelly PD, Zuckerman SL, Yamada Y, Lis E, Bilsky MH, Laufer I, et al. Image guidance in spine tumor surgery. Vol. 43, *Neurosurgical Review*. Springer; 2020. p. 1007–17.
24. Neradi D, Kumar V, Kumar S, Sodavarapu P, Goni V, Singh Dhatt S. Minimally Invasive Surgery versus Open Surgery for Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Asian Spine J.* 2022 Apr 1;16(2):279–89.
25. Delgado-Fernández J, Pulido Rivas P, Gil-Simoes R, de Sola RG. How I do it? Lumbar cortical bone trajectory fixation with image-guided neuronavigation. *Acta Neurochir (Wien).* 2019 Dec 1;161(12):2423–8.
26. García Medina MA, Tovar López J, Martínez Guardiola JM. Uso de fluoroscopia intraoperatoria para la colocación segura de los tornillos transpediculares en C2 en proyección anteroposterior. *Ortho-tips.* 2022;18(2):121–6.
27. Daneri-Allis GM, Violante-Mejía J, Villa-Benites A, Anaya-Prado R, Zepeda-Ochoa JD. Instrumentación dorso-lumbar asistida con neuronavegación O-arm y cirugía mínimamente invasiva: resultados clínico-quirúrgicos. *Cir Cir.* 2021;89(5):595–602.
28. Katz AD, Galina J, Song J, Hasan S, Perfetti D, Virk S, et al. Impact of Navigation on 30-Day Outcomes for Adult Spinal Deformity Surgery. *Global Spine J.* 2023 Sep 1;13(7):1728–36.
29. Wagner SC, Morrissey PB, Kaye ID, Sebastian A, Butler JS, Kepler CK. Intraoperative pedicle screw navigation does not significantly affect complication rates after spine surgery. *Journal of Clinical Neuroscience.* 2018 Jan 1;47:198–201.

## Neuronavegación en escoliosis y tumores espinales

30. Montemurro N, Scerrati A, Ricciardi L, Trevisi G. The exoscope in neurosurgery: An overview of the current literature of intraoperative use in brain and spine surgery. Vol. 11, Journal of Clinical Medicine. MDPI; 2022.
31. Yamada T, Hasegawa T, Yamato Y, Yoshida G, Banno T, Arima H, et al. Characteristics of pedicle screw misplacement using freehand technique in degenerative scoliosis surgery. Arch Orthop Trauma Surg. 2023 Apr 1;143(4):1861–7.
32. Urbanski W, Zaluski R, Kokaveshi A, Aldobasic S, Miekisiak G, Morasiewicz P. Minimal invasive posterior correction of Lenke 5C idiopathic scoliosis: comparative analysis of minimal invasive vs. open surgery. Arch Orthop Trauma Surg. 2019 Sep 1;139(9):1203–8.