



NOTA CLÍNICA

Alteración en los umbrales de estimulación de tornillos pediculares torácicos secundaria a neumotórax en cirugía por escoliosis idiopática del adolescente. A propósito de dos casos

C. Madrid^{a,*}, A. Gómez-Rice^a, S. Cordon^b, E. Sanz-Barbero^a y L. Zúñiga^a

^a Hospital Universitario de Getafe, Getafe, Madrid, España

^b Sigma-Rail, S.L. Leganés, Madrid, España

Recibido el 29 de abril de 2020; aceptado el 28 de septiembre de 2020

Disponible en Internet el 1 de junio de 2021

PALABRAS CLAVE

Neumotórax;
 Umbrales de tornillos pediculares (UTP);
 Escoliosis idiopática del adolescente

Resumen La artrodesis posterior instrumentada con tornillos pediculares mediante manos libres y con monitorización neurofisiológica intraoperatoria es la técnica quirúrgica más común en cirugía de escoliosis idiopática del adolescente. Una complicación descrita durante este tipo de intervenciones es el neumotórax. La estimulación de los tornillos pediculares es la técnica neurofisiológica empleada para la detección del mal posicionamiento de los mismos y para prevenir lesiones neurológicas iatrogénicas. Presentamos 2 casos clínicos en los que la caída unilateral de los umbrales de los tornillos pediculares se asocia a neumotórax ipsilateral. Para detectar un neumotórax, hay que realizar una radiografía de tórax postoperatoria. Sin embargo, esta práctica ha sido cuestionada debido a la baja incidencia de esta complicación. A raíz de la asociación descrita en este trabajo, consideramos que ante un descenso o asimetría en los umbrales de los tornillos pediculares debemos sospechar y descartar la existencia de un neumotórax.

© 2021 El Autor(s). Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de SECOT. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

KEYWORDS

Pneumothorax;
 Triggered-EMG;
 Adolescent idiopathic scoliosis

Change in triggered EMG thresholds for thoracic pedicle screws caused by pneumothorax during surgery for adolescent idiopathic scoliosis. Report of two cases

Abstract Posterior spinal instrumentation and fusion with pedicle screws inserted by free-hand technique and controlled by multimodal intraoperative monitoring is the most common technique in adolescent idiopathic scoliosis surgery. Pneumothorax is a described complication of this kind of procedure. Triggered electromyography is used to identify pedicle wall breakthrough

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: cristina.madrid.delaserna@gmail.com (C. Madrid).

and prevent neurological injuries. We report 2 clinical cases in which unilateral decrease in triggered electromyography values associate with ipsilateral pneumothorax. Postoperative chest radiographs need to be done in order to diagnose a pneumothorax. However, routinely performing a chest radiograph has been questioned because of the low incidence of this surgical complication. As a result of the association described in this article, we consider that when a unilateral decrease in triggered electromyography values is detected, a hidden pneumothorax should be suspected and ruled out.

© 2021 The Author(s). Published by Elsevier España, S.L.U. on behalf of SECOT. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

La artrodesis posterior instrumentada con tornillos pediculares es el tratamiento quirúrgico de elección para pacientes con escoliosis idiopática del adolescente (EIA). La tasa de mal posicionamiento de tornillos pediculares torácicos es muy variable en la literatura, alcanzado en algunas series hasta el 30% de los tornillos implantados con la técnica manos libres¹. Los tornillos mal posicionados pueden ser causantes de lesiones neurológicas y viscerales potencialmente graves^{1,2}.

La técnica de manos libres³ con monitorización neurofisiológica intraoperatoria (MNI) es la técnica quirúrgica más empleada en EIA, con menor exposición radiológica intraoperatoria que sus alternativas. La MNI se ha convertido en una herramienta fundamental porque ha demostrado reducir la incidencia de lesiones neurológicas en cirugía de deformidad⁴. La estimulación de los tornillos pediculares se utiliza para detectar brechas mediales en el pedículo vertebral. Consiste en la aplicación de un estímulo eléctrico único sobre el tornillo y en el registro de la respuesta motora en el músculo correspondiente a la raíz del nivel estimulado. Los valores de sensibilidad y especificidad descritos en la bibliografía para la detección de mala posición de tornillos por esta técnica son de 0,78 y 0,94 respectivamente^{5,6}.

El neumotórax es una de las complicaciones descritas durante la artrodesis posterior instrumentada en pacientes con EIA. Puede producirse como consecuencia de brechas en los pedículos vertebrales o por la realización de grandes disecciones entre apófisis transversas⁷. La incidencia de neumotórax descrita en la bibliografía en pacientes intervenidos de EIA varía entre el 0,3% y el 3,3% y se relaciona con el número de niveles fusionados, la localización proximal de la curva torácica y la necesidad intraoperatoria de transfusión sanguínea². Aunque se trata de una complicación poco frecuente, su identificación precoz y tratamiento adecuado resultan esenciales para la correcta resolución de un cuadro potencialmente letal.

El objetivo de este trabajo consiste en describir la asociación entre la aparición de neumotórax y la caída de los umbrales de los tornillos pediculares torácicos ipsilaterales durante cirugías de EIA. La propuesta de un mecanismo fisiopatológico plausible para esta posible relación es el objetivo secundario del mismo.

Casos clínicos y resultados

Presentamos dos casos de pacientes intervenidos por EIA que presentaron un neumotórax asociado a una disminución ipsilateral de los umbrales de los tornillos pediculares (UTP) torácicos, como complicación quirúrgica.

En nuestro centro, toda cirugía de deformidad se realiza bajo MNI desde el 2006. El protocolo incluye: potenciales evocados motores (PEM), potenciales evocados somatosensoriales (PESS), electromiograma (EMG) continuo y UTP. Para obtener los UTP empleamos un cátodo estimulador que se sitúa sobre la cabeza de los tornillos y una aguja monopolar de 12 mm insertada en la musculatura paraespinal ipsilateral, que actúa como ánodo. Los parámetros empleados para el registro de las respuestas son estímulos con una frecuencia de 1 Hz y una duración de 0,5 ms con intensidad ascendente hasta que un potencial de acción compuesto repetible es obtenido en el músculo del miotoma correspondiente. Para los UTP de las vértebras torácicas T2-T6, los electrodos se colocan en la musculatura intercostal en la línea axilar media. En los niveles T6-T12, los electrodos se sitúan en la musculatura intercostal o en el oblicuo del abdomen. Los niveles lumbares L1-L5 son registrados en los músculos aductor largo, vasto lateral, tibial anterior y abductor del hallux. Desde hace 2 años, incluimos en el protocolo de monitorización una doble estimulación de los tornillos:

- Inmediatamente después de implantar el tornillo.
- Tras haber concluido la implantación de todos los tornillos, mientras el cirujano principal moldea las barras, el ayudante realiza una nueva estimulación antes de iniciar las maniobras de corrección.

El primer paciente en el que identificamos un neumotórax pertenece al periodo anterior a la doble estimulación. El segundo paciente pertenece al periodo de doble estimulación. En nuestro centro, todos los pacientes sometidos a cirugía por EIA permanecen 24 h en la unidad de reanimación posquirúrgica donde se les realiza una radiografía de tórax h después de finalizar la cirugía.

Paciente 1

Paciente mujer sana de 11 años de edad con diagnóstico de EIA Lenke 3CN⁸ (curva torácica T4-T10 de 66° y curva lumbar T11-L4 de 63°) sin intervenciones quirúrgicas previas. Se realizan osteotomías de Ponte, corrección y artrodesis instrumentada T4-L4 con hueso local autólogo y matriz ósea desmineralizada.

En esta paciente, los umbrales se registraron implantados los tornillos, realizadas las osteotomías de Ponte y tras radioscopia anteroposterior y lateral satisfactorias. Los UTP torácicos izquierdos (concavidad) oscilaron entre 12 y 20 mA. Los UTP lumbares izquierdos (convexidad) superaron los 20 mA. En el lado derecho, los UTP lumbares (concavidad) superaron los 15 mA mientras que los UTP torácicos (convexidad) fueron 2 mA en T12, 3,5 mA en T11, 6 mA en T5, T7 y T8 y 8 mA en T4. Estos UTP disminuidos no se acompañaron de alteración en los PEM o PESS.

Al registrar UTP bajos, se revisaron los tornillos pediculares torácicos derechos sin identificar brechas a la palpación. Sin encontrar explicación a estos valores, a modo de test, se realizó un estímulo de superficie sobre las transversas de T11 y T12 registrando umbrales de 3 y 2 mA, respectivamente. Ante este hallazgo y dada la ausencia de alteraciones a la palpación y en la radioscopia se decidió considerar la disminución de los umbrales como un artefacto técnico y continuar con la cirugía.

Durante las maniobras de corrección, se detectó un episodio de hipotensión arterial y se detuvo la manipulación quirúrgica hasta la normalización de las cifras tensionales. Una vez reanudada la cirugía, la paciente se mantuvo estable hasta el final de la intervención y fue extubada sin complicaciones. Durante su estancia en la unidad de reanimación posquirúrgica, de acuerdo con el protocolo del centro, se realizó una radiografía de tórax en la que se objetivó neumotórax derecho a tensión. Se decidió la colocación de un tubo de tórax, que fue retirado en el tercer día postoperatorio tras la resolución de la complicación (figs. 1 y 2).

Paciente 2

Paciente varón de 16 años de edad sin antecedentes de interés con diagnóstico de EIA Lenke 6CN⁸ (curva torácica T4-T10 de 63° y curva lumbar T11-L4 de 69°, Risser 4) sin intervenciones quirúrgicas previas. Es tratado mediante osteotomías de Ponte, corrección y artrodesis instrumentada T4-L4.

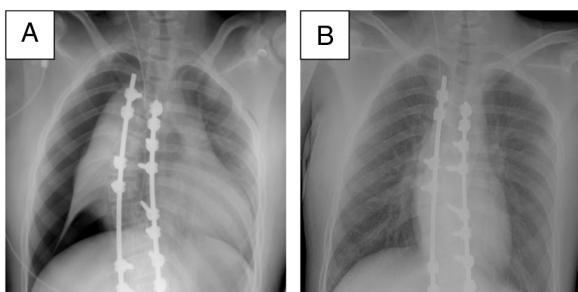


Figura 1 Neumotórax. A) Neumotórax derecho. B) Radiografía tras retirada del tubo de tórax, neumotórax resuelto.

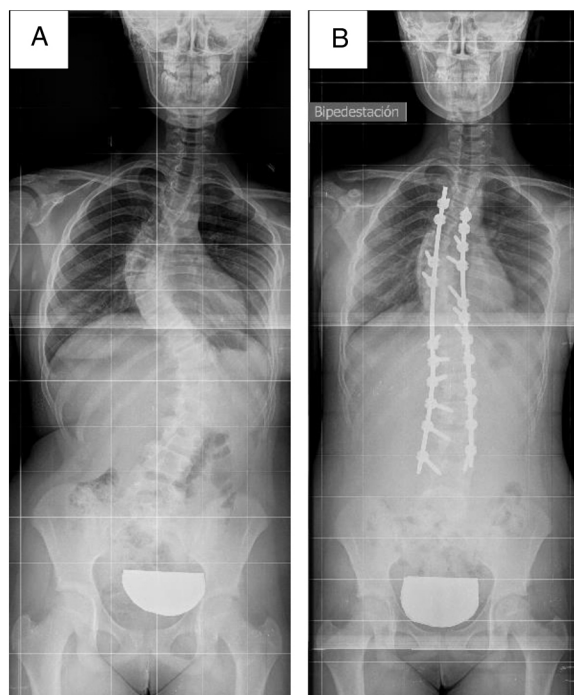


Figura 2 Paciente 1. A) Radiografía posteroanterior preoperatoria. B) Radiografía posteroanterior postoperatoria.

Antes de comenzar la cirugía, durante la colocación de un catéter venoso central, se objetivó aspiración de aire. Sin embargo, el paciente se mantuvo estable durante toda la cirugía, sin mostrar ningún signo de haber desarrollado un neumotórax.

Siguiendo nuestro actual protocolo, los tornillos pediculares fueron estimulados en 2 ocasiones separadas entre sí por un intervalo de tiempo variable. Todos los UTP lumbares oscilaron entre 26 y 30 mA en las 2 estimulaciones, sin variaciones significativas. Los UTP torácicos izquierdos (concavidad) variaron entre 16 y 50 mA, de nuevo sin variaciones significativas. En la primera estimulación, los UTP torácicos derechos (convexidad) registraron valores entre 15 y 50 mA. En la segunda estimulación, los UTP permanecieron estables en T9 y experimentaron un descenso de 15 mA en T4 y T5, 13 mA en T8, 3 mA en T10 y T12 y 1 mA en T11. A pesar de este descenso generalizado de los UTP derechos, los valores permanecieron por encima de un umbral patológico (rango 12-37 mA). Considerando el control radioscópico satisfactorio, la correcta palpación del trayecto pedicular y los valores no patológicos de los UTP se decidió proseguir con la cirugía. No se produjeron alteraciones en los PEM ni en los PESS durante toda la intervención.

Los UTP derechos disminuidos y la aspiración de aire en el acceso a la vía central nos obligó a descartar de manera precoz un neumotórax, a pesar de que el paciente no presentó alteraciones hemodinámicas durante el procedimiento. La radiografía de tórax confirmó el diagnóstico de neumotórax derecho a tensión. La sospecha clínica permitió un precoz tratamiento mediante la implantación de un tubo de tórax que se mantuvo 48 h. El paciente evolucionó satisfactoriamente sin más incidencias (fig. 3).

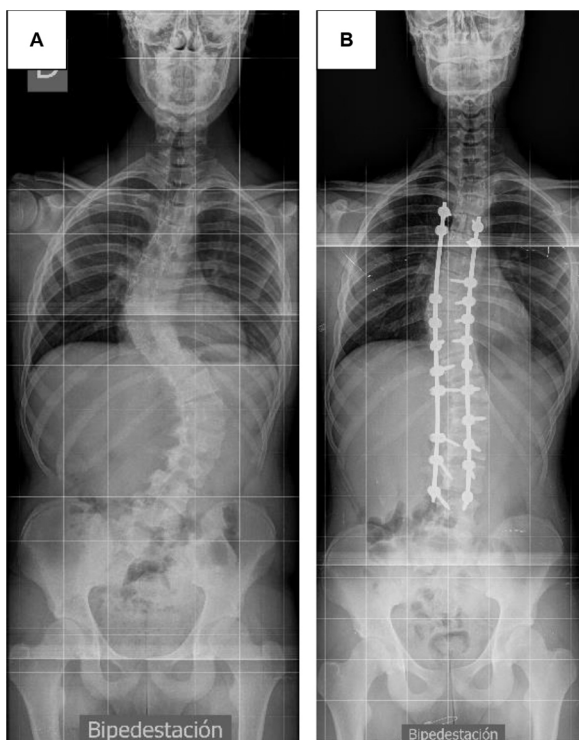


Figura 3 Paciente 2. A) Radiografía posteroanterior preoperatoria. B) Radiografía posteroanterior postoperatoria.

Discusión

La corrección de la deformidad mediante instrumentación con tornillos pediculares es una técnica generalizada en la práctica quirúrgica^{1,2,4}. Sin embargo, no está exenta de riesgos. La proximidad de estructuras que comportan un riesgo vital convierte la detección de posibles lesiones de las mismas en un objetivo prioritario.

En este sentido, la MNI se ha convertido en una práctica obligatoria pues facilita la detección de lesiones neurológicas iatrogénicas en estadios tempranos. Aunque la estimulación de los tornillos pediculares se realiza de forma sistemática en este tipo de procedimientos, el rango de valores umbrales que debemos considerar como susceptible de perforación de cortical medial oscila entre 5 y 10 mA en la literatura.

Además de las lesiones neurológicas, una de las complicaciones asociada a cirugía por EIA es el neumotórax². Su detección precisa realizar una radiografía de tórax en el postoperatorio. Recientemente, la necesidad de realizar una radiografía de tórax rutinaria en el postoperatorio de pacientes intervenidos por EIA ha sido puesta en duda⁷, dada la baja incidencia reportada de neumotórax en la literatura.

Esta nota clínica presenta, por primera vez, la asociación entre un descenso de los UTP y la aparición de neumotórax. En la paciente 1, consideramos que la causa más probable de neumotórax fue una disección intertransversa amplia en la convexidad torácica. Esta complicación tuvo repercusión hemodinámica en forma de episodio de hipotensión durante las maniobras correctoras. En el paciente 2, creemos que el neumotórax se produjo en relación con la manipulación durante el acceso venoso central y la exposición a una

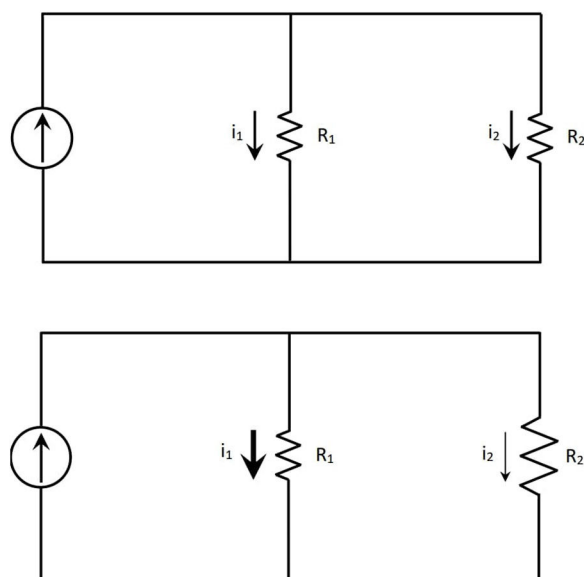


Figura 4 Modelo de conducción eléctrica. Imagen superior: condiciones fisiológicas. Imagen inferior: cambios asociados a la aparición de neumotórax.

prolongada presión positiva por la intubación. En este caso, no se identificó ninguna alteración hemodinámica. Solo la experiencia del primer paciente con unos UTP menores de lo esperado nos condujo a la sospecha clínica de neumotórax y a su resolución precoz. En caso de no haber tenido esta sospecha, la radiografía de tórax se habría realizado h después de finalizada la cirugía conforme al protocolo de reanimación de nuestro centro.

Creemos que esta alteración de los UTP en presencia de un neumotórax puede explicarse de acuerdo con las leyes de Ohm y Kirchoff. La resistencia es la propiedad de un material para oponerse a una corriente eléctrica⁹. Cumpliendo la ley de Ohm⁹, la corriente circulará por todos los caminos disponibles de manera inversamente proporcional a la resistencia que ofrezca cada uno de ellos. En el caso de interés, la intensidad del pulso generado recorrerá todos los caminos desde el cátodo hasta el ánodo. Para simplificar la interacción¹⁰, supondremos 2 caminos:

- Camino 1: provocando la estimulación de la raíz nerviosa adyacente.
- Camino 2: recorriendo todos los caminos que no causarían la estimulación de la raíz nerviosa (incluyendo aquellos que pasan por tejido pulmonar).

Cuando se produce un neumotórax, la resistencia del camino 2 aumenta puesto que la resistencia que ofrece el aire es mayor que la del tejido pulmonar¹¹ y, por lo tanto, la intensidad que circula por este camino disminuye. De acuerdo con la primera ley de Kirchoff¹², para que toda la intensidad pueda volver a la fuente, el camino 1 soporta una intensidad mayor provocando la detección de la activación radicular con estímulos de menor intensidad (caída de valores umbral) (fig. 4).

Conclusiones

La caída de los umbrales de estimulación de los tornillos pediculares torácicos en pacientes intervenidos de EIA mediante instrumentación posterior con tornillos pediculares puede asociarse a la aparición de neumotórax. Esta relación y su mecanismo no ha sido previamente descrita en la bibliografía. Nuestros 2 casos sugieren que ante una asimetría marcada en los UTP torácicos o unos UTP torácicos unilateralmente disminuidos, debe sospecharse la existencia de un neumotórax y deben considerarse métodos diagnósticos (radiografía de tórax) y medidas terapéuticas (tubo de tórax) de manera precoz.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia V.

Bibliografía

1. Di Silvestre M, Parisini P, Lolli F, Bakaloudis G. Complications of thoracic pedicle screws in scoliosis treatment. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32:1655–61.
2. Lewis SJ, Keshen SG, Lewis ND, Dear TE, Mehrkens A, Niazi AU. Tension pneumothorax as a complication of inadvertent pleural tears during posterior spinal surgery. *Spine Deform*. 2014;2:316–21.
3. Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, Cho YS, Riew KD. Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine: is it safe? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29:333–42.
4. Samdani AF, Tantorosky M, Cahill PJ, Ranade A, Koch S, Clements DH, et al. Triggered electromyography for placement of thoracic pedicle screws: is it reliable? *Eur Spine J*. 2011;20:869–74.
5. Mikula AL, Williams SK, Anderson PA. The use of intraoperative triggered electromyography to detect misplaced pedicle screws: a systematic review and meta-analysis. *J Neurosurg Spine*. 2016;24:624–38.
6. Min WK, Lee HJ, Jeong WJ, Oh CW, Bae JS, Cho HS, et al. Reliability of Triggered EMG for Prediction of Safety during Pedicle Screw Placement in Adolescent Idiopathic Scoliosis Surgery. *Asian Spine J*. 2011;5:51–8.
7. Esposito R, Conklin M, McGwin G, Gilbert SR. Do we need postoperative chest radiographs after posterior spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis? *Spine Deformity*. 2018:571–6.
8. Lenke LG, Betz RR, Harms J, Bridwell KH, Clements DH, Lowe TG, et al. Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83:1169–81.
9. Alexander C, Sadiku M. *Fundamentals of electric circuits*. New York, NY: McGraw-Hill; 2007.
10. Belevitch V. Summary of the history of circuit theory. *Proceedings of the IRE*. 1962;vol.50(iss.5):848–55.
11. San-Pablo-Juárez MA, Morales-Sánchez E, Ireta-Moreno F, Ávalos-Zúñiga R, González-Barbosa JJ. Método para medir densidad ósea a partir de conductividad eléctrica calculada por Tomografía de Impedancia Eléctrica. *Rev. Mex. Ing. Biom*. 2017;38:492–506.
12. Oldham KTS. *The doctrine of description: Gustav Kirchhoff, classical physics, and the "purpose of all science" in 19th-century Germany*. Thesis (Ph. D. in History). Berkeley: University of California, 2008.