

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO EN ESPECIALIDADES MÉDICAS

POSGRADO EN ORTOPEDIA Y TRAUMATOLOGÍA

**DESCRIPCIÓN DEL SÍNDROME DEL ASTA ANTERIOR DE LA MÉDULA
ESPINAL DURANTE LA CIRUGÍA DE CORRECCIÓN DE ESCOLIOSIS
IDIOPÁTICA ADOLESCENTE: REVISIÓN DE LA LITERATURA A PROPÓSITO
DE UN CASO**

**Trabajo final de graduación sometido a la consideración del comité de la
especialidad en Posgrado en Ortopedia y Traumatología para optar por el
grado y título de especialista en Ortopedia y Traumatología**

MARÍA FERNANDA BOLAÑOS SOLÍS

2023

TUTOR: MAX DANIEL MÉNDEZ SALAZAR

Firma:

Agradecimientos

A mi familia, mi mamá, mis primos, mis tías, Maruja, Iris y Cecilia, mis tíos, Guillermo y Antonio. A ellos les debo el apoyo incondicional, el empuje y los consejos, sobre todo el tiempo que no compartí con ellos.

A todos los compañeros y profesores que me acompañaron en este proceso, en especial al Servicio de Ortopedia del Hospital San Vicente de Paúl, especialistas, médicos generales y técnicos, quienes fueron una constante fuente de motivación durante los altibajos de este proceso.

A mi tutor, Max Méndez, quien además de ser una guía en la parte académica ha sido un consejero en los diferentes aspectos de la vida, sobre todo por enseñarme la importancia de ser una buena persona.

Dedicatoria

A mi hermano y papá, pues cada día desde su muerte los extraño, mi mayor anhelo es compartir este momento con ustedes. Todo lo que soy y algún día llegaré a ser es de ustedes.

Este trabajo final de graduación fue aceptado por el comité de la Especialidad en Ortopedia y Traumatología del Programa de Posgrado en Especialidades Médicas de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado y título de Especialista en Ortopedia y Traumatología.

Dr. Esteban Zamora Estrada. Médico asistente en ortopedia y traumatología

Coordinador de la especialidad en Ortopedia y Traumatología

Dr. Max Méndez Salazar. Médico asistente en ortopedia y traumatología

Tutor de la investigación

Dr. Jairo García Gutiérrez

Lector

Dra. María Fernanda Bolaños Solís

Sustentante

Carta de aprobación del filólogo

Cartago, 12 de abril de 2023

Los suscritos, Elena Redondo Camacho, mayor, casada, filóloga, incorporada a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0247, portadora de la cédula de identidad número 3-0447-0799 y, Daniel González Monge, mayor, casado, filólogo, incorporado a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0245, portador de la cédula de identidad número 1-1345-0416, ambos vecinos de Quebradilla de Cartago, revisamos el trabajo final de graduación que se titula: *DESCRIPCIÓN DEL SÍNDROME DEL ASTA ANTERIOR DE LA MÉDULA ESPINAL DURANTE LA CIRUGÍA DE CORRECCIÓN DE ESCOLIOSIS IDIOPÁTICA ADOLESCENTE: REVISIÓN DE LA LITERATURA A PROPÓSITO DE UN CASO*, sustentado por María Fernanda Bolaños Solís.

Hacemos constar que se corrigieron aspectos de ortografía, redacción, estilo y otros vicios del lenguaje que se pudieron trasladar al texto. A pesar de esto, la originalidad y la validez del contenido son responsabilidad directa de la persona autora.

Esperamos que nuestra participación satisfaga los requerimientos de la Universidad de Costa Rica.

X

Elena Redondo Camacho
Filóloga - Carné ACFIL n.º 0247

X

Daniel González Monge
Filólogo - Carné ACFIL n.º 0245

Índice general

Introducción	1
Objetivos	1
Objetivo general	1
Objetivos específicos	1
Metodología.....	3
Desarrollo	4
Anatomía: Organización de la médula espinal	4
Sustancia gris.....	5
Grupos de células en las astas grises anteriores	5
Columnas motoras mediales.....	5
Columnas motoras laterales.....	6
Columna motora central	6
Grupos celulares en las astas grises posteriores	6
Grupo de la sustancia gelatinosa	6
El núcleo propio.....	6
Núcleo dorsal	6
Núcleo aferente visceral.....	7
Sustancia blanca.....	7
Vías motoras descendentes.....	7

Vías motoras descendentes del tracto corticoespinal (piramidal).....	7
Vías motoras descendentes del tracto extrapiramidal	8
Vías ascendentes.....	8
Función y reflejos.....	9
Suministro vascular de la médula espinal	9
Las arterias longitudinales	10
Arteria espinal anterior.....	10
Arterias espinales posteriores.....	10
Arterias radicales.....	11
Arterias intrínsecas.....	12
Fisiología del flujo sanguíneo de la médula espinal	12
Lesión neurológica en el manejo quirúrgico de la escoliosis idiopática	13
Epidemiología.....	13
Mecanismo de la lesión	13
Factores de riesgo	14
Síndrome del cordón anterior	16
Valoración preoperatoria.....	17
Historial clínico y examen físico	17
Estudios.....	18
Valoración pulmonar	19

Nutrición	19
Manejo intraoperatorio	19
Normotermia	20
Monitoreo de la presión arterial y estrategias de preservación sanguínea....	20
Hipotensión controlada.....	21
Monitoreo neurológico.....	22
Método de despertar intraoperatorio.....	22
Pruebas neurofisiológicas relevantes en la cirugía espinal	22
Potenciales evocados somatosensoriales (PESS).....	22
Potenciales evocados motores transcraneales (PEM)	23
Descripción del caso clínico	25
Discusión	30
Conclusiones.....	31
Bibliografía.....	32
Anexos	40
Anexo 1. Tablas	40
Anexo 2. Figuras.....	41

Resumen

Este trabajo es una revisión de la literatura actual sobre la isquemia del asta anterior de la médula espinal durante la cirugía de escoliosis. Se describen los factores de riesgo, la patofisiología y las consecuencias de esta complicación, así como las medidas de prevención y tratamiento. Posteriormente, se presenta un caso clínico de una adolescente que desarrolló esta complicación durante una cirugía de escoliosis idiopática adolescente y se describe la evaluación diagnóstica, el manejo y la evolución del paciente.

En general, se pretende destacar la importancia de la identificación temprana y el manejo adecuado de esta complicación para minimizar las consecuencias negativas en las personas pacientes. Se enfatiza la necesidad de una evaluación neurológica y de un monitoreo intraoperatorio cuidadoso y cómo esta herramienta demuestra ser de gran ayuda. La revisión de la literatura y el caso de estudio proporcionan información valiosa sobre esta complicación y sus posibles consecuencias, lo que puede ayudar a mejorar la atención y el manejo de las personas pacientes en el futuro.

Summary

This paper is based on a review of the current literature on anterior spinal cord ischemia during scoliosis surgery. It describes the risk factors, pathophysiology, and consequences of this complication, as well as preventive and treatment measures. Then, a case study of a teenage girl who developed this complication during adolescent idiopathic scoliosis surgery is presented, and the diagnostic evaluation, management, and patient outcome are described.

Overall, the paper pretends to highlight the importance of early identification and appropriate management of this complication to minimize negative consequences on patients. The need for careful neurological evaluation and intraoperative monitoring is emphasized, and how this tool has been shown to be of great help. The literature review and case study provide valuable information about this complication and its possible consequences, which can help improve patient care and management in the future.

Índice de tablas

Tabla 1 Estrategias de conservación de sangre para el manejo quirúrgico de la escoliosis	40
--	----

Lista de figuras

Figura 1 Ilustración de la anatomía macroscópica de la médula espinal y las raíces nerviosas espinales	41
Figura 2 Organización de las astas anteriores de la médula espinal	42
Figura 3 Anatomía transversal de la sustancia gris de la médula espinal	42
Figura 4 Anatomía de la red colateral: vista sagital (B1) y dorsal (B2)	43
Figura 5 Arterias de la médula y las raíces nerviosas	44
Figura 6 Arterias longitudinales de la médula espinal.....	45
Figura 7 Arterias intrínsecas de la médula espinal.....	46
Figura 8 Caracterización del síndrome del cordón anterior	46

Abreviaturas

AP: radiografía anteroposterior.

PEM: potenciales evocados motores transcraneales.

PES: potenciales evocados somatosensoriales.

TAC: tomografía axial computarizada.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, María Fernanda Bolaños Solís, con cédula de identidad 113260539, en mi condición de autor del TFG titulado DESCRIPCIÓN DEL SÍNDROME DEL ASTA ANTERIOR DE LA MEDULA ESPINAL DURANTE LA CIRUGIA DE CORRECIÓN DE ESCOLIOSIS IDIOPÁTICA ADOLESCENTE: Revisión de la literatura a propósito de un caso.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: María Fernanda Bolaños Solís

Número de Carné: A60893 Número de cédula: 113260539

Correo Electrónico: nandabolaos@gmail.com

Fecha: 13 de abril del 2023 Número de teléfono: 83714018

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Max Daniel Mendez Salazar

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

Introducción

La instrumentación y la fusión espinal son una estrategia útil para el manejo de las personas pacientes con escoliosis idiopática del adolescente con curvas progresivas mayores de 45-50 grados. Existen múltiples riesgos asociados con este procedimiento, dentro de ellos se encuentra la lesión neurológica. Aunque esta ocurre con poca frecuencia, tiene consecuencias catastróficas para las personas pacientes y sus familias. Por lo tanto, es importante realizar preoperatoriamente una documentación extensa, tanto de la historia clínica como de las características de la deformidad espinal del paciente, además de discutir con el paciente y la familia las posibles complicaciones neurológicas.

Las estrategias para disminuir el riesgo de esta lesión son comunes e incluyen técnicas como la neuromonitorización intraoperatoria con potenciales evocados motores y potenciales evocados somatosensoriales (PEM y PESS), así como la hipotensión arterial controlada, planeamiento preoperatorio, entre otros. Este trabajo busca revisar la literatura reciente en la que se describa el manejo, diagnóstico y medidas de seguridad por adoptar para disminuir la incidencia de complicaciones neurológicas en las personas pacientes que se sometan a estos procedimientos.

Objetivos

Objetivo general

Analizar cómo se produce la lesión en el asta anterior de la médula espinal durante una cirugía de corrección de escoliosis y su correlación clínica.

Objetivos específicos

1. Describir las cualidades anatómicas, vasculares y fisiológicas de la médula espinal y su correlación con las características fisiopatológicas de las lesiones espinales del asta anterior.
2. Caracterizar las deformidades de la columna vertebral en la escoliosis idiopática y criterios quirúrgicos de la escoliosis idiopática adolescente.

3. Definir y revisar los métodos, factores de riesgo, prevención, detención y manejo de las lesiones neurológicas en la cirugía de corrección de la escoliosis de la columna vertebral.
4. Describir las técnicas de control preoperatorio, transoperatorio y posoperatorio para monitoreo y manejo de las lesiones neurológicas de la médula espinal.
5. Describir el caso clínico elegido y su correlación con la revisión bibliográfica.

Metodología

El presente trabajo se llevó a cabo mediante la revisión bibliográfica de 6 libros y 45 artículos, estos datan de 1976 hasta 2022. Se incluyen publicaciones, tanto de la especialidad de ortopedia como de anestesia, neurocirugía, neurología, fisioterapia y radiología.

Se realizó una revisión no sistemática de la literatura basada en datos científicos como Cochrane Database of Systematic Reviews, PubMed/Medline, ScienceDirect, ORCID y el buscador académico Google Scholar. A la luz de esta revisión se analiza el caso clínico de un paciente que presentó esta complicación.

Desarrollo

Anatomía: Organización de la médula espinal

La médula espinal es la parte más distal del sistema nervioso central, inicia como una prolongación del tronco del encéfalo y se extiende, desde el foramen magno del hueso occipital hasta las vértebras L1 o L2. Su extremo inferior, el cono medular, puede finalizar desde T12 hasta L3. Desde el cono se extiende un cordón fibroso llamado *filum terminale*, este se inserta en el primer segmento coccígeo, anclando la médula espinal a la columna vertebral. Por lo general, la médula espinal ocupa las dos terceras partes superiores del conducto vertebral (Moore, 2013).

Longitudinalmente, la médula espinal se divide en cuatro regiones: cervical, torácica, lumbar y sacra (ver Figura 1). Las raíces nerviosas C1 a C7 emergen por encima de sus vértebras, por lo que la raíz del C8 emerge entre los cuerpos vertebrales C7 y T1. Consecuentemente, el resto de las raíces nerviosas surgen por debajo del nivel vertebral (Frederick, 2019).

La médula espinal presenta dos abultamientos o engrosamientos llamados intumescencias cervical y lumbar, que se relacionan con la inervación de los miembros (Moore, 2013):

1. La intumescencia cervical: se extiende desde los segmentos medulares C4 a T1, la mayoría de sus ramos anteriores constituyen el plexo braquial, que inerva el miembro superior.
2. La intumescencia lumbosacra: se extiende desde el segmento medular T11 hasta S1; sus ramos anteriores componen los plexos nerviosos lumbar y sacro, que inervan el miembro inferior.

Con el fin de transmitir información sensitiva, motora y autónoma, la médula espinal se encuentra altamente organizada somatotónicamente (Hardy, 2021).

Sustancia gris

En la región central, en forma de H o mariposa, se ubica la sustancia gris compuesta por los cuerpos neuronales y a su alrededor se encuentra la sustancia blanca. Las columnas (alas de la mariposa) anterior y posterior de la sustancia gris se denominan astas ventrales y dorsales. Estas se encuentran unidas por una delgada comisura gris (cuerpo de la mariposa) que contiene conducto ependimario (Snell, 2014).

En la médula espinal se pueden diferenciar grupos celulares que tienen funciones específicas. Por ejemplo, las células del asta posterior están involucradas en la transmisión de información sensorial, mientras que las células del asta intermedia y anterior tienen un papel importante en la función motora del cuerpo (Grüner y Biller, 2008).

Grupos de células en las astas grises anteriores

Las astas ventrales contienen interneuronas y neuronas motoras alfa y gamma. Los axones eferentes de las células alfa recorren las raíces anteriores de los nervios espinales que inervan los músculos esqueléticos (Mtui *et al.*, 2021). Los axones de las neuronas eferentes gamma viajan a las raíces anteriores de los nervios raquídeos e inervan las fibras musculares de los husos neuromusculares (Mtui *et al.*, 2021). Para el conocimiento, estos husos son estructuras que se encuentran en el tejido muscular y que tienen como función detectar cambios en la longitud y la tensión muscular, lo que permite el control y la regulación de la actividad motora del cuerpo.

Para fines prácticos, las células nerviosas de asta anterior pueden clasificarse en tres grupos básicos: medial, central y lateral (Snell, 2014). Estos están ilustrados en la Figura 2.

Columnas motoras mediales

En estas se localizan las neuronas motoras somáticas, por donde se trasmite la información hacia los músculos esqueléticos del cuello y del tronco, entre ellos la musculatura intercostal y la abdominal (Hardy, 2021).

Columnas motoras laterales

Las columnas motoras laterales se localizan en el segmento cervical y lumbosacro y se encargan de la inervación a los músculos de los miembros (Gruener y Biller, 2018).

Columna motora central

Es la más pequeña y está presente en algunos segmentos cervicales y lumbosacro. En la porción cervical de la médula los segmentos C3 a C5 son responsables por inervar el diafragma. Por lo tanto, en conjunto se conocen como núcleo frénico. En los cinco o seis segmentos cervicales superiores, un grupo de células inerva los músculos esternocleidomastoideo y trapecio, por lo tanto, se denomina núcleo accesorio (Snell, 2014).

Grupos celulares en las astas grises posteriores

Las fibras aferentes (sensoriales) somáticas y viscerales ingresan a la médula a través de las astas dorsales, los cuerpos de estas neuronas se encuentran en los ganglios de la raíz dorsal. Existen cuatro grupos de células nerviosas del asta dorsal posterior, ilustrados en la Figura 3 y descritos en los siguientes puntos (Snell, 2014).

Grupo de la sustancia gelatinosa

Este grupo se sitúa a lo largo de toda la médula espinal. Además, recibe fibras aferentes que se relacionan con el dolor, la temperatura y el tacto (Snell, 2014).

El núcleo propio

Se ubica anterior a la sustancia gelatinosa y constituye la principal masa de células en el asta gris posterior. Este recibe impulsos que se relacionan con la propiocepción (Snell, 2014).

Núcleo dorsal

También conocido como columna de Clarke, se extiende desde el octavo segmento cervical hasta el tercer o cuarto segmento lumbar. Este guarda relación

con terminaciones propioceptivas (husos neuromusculares y tendinosos) (Snell, 2014).

Núcleo aferente visceral

Es un grupo de células laterales al núcleo dorsal que se extiende, desde el primer segmento dorsal hasta el tercer segmento lumbar. Se cree que se relaciona con la recepción de datos visceral (Snell, 2014).

Sustancia blanca

La sustancia blanca puede dividirse en columnas o cordones anteriores, laterales y posteriores. Según Snell (2014):

La columna anterior de cada lado está situada entre la línea media y el punto de salida de las raíces nerviosas anteriores; la columna lateral se encuentra entre la salida de las raíces nerviosas anteriores y la entrada de las posteriores; la columna posterior está localizada entre la entrada de las raíces nerviosas posteriores y la línea media (p. 275).

Con fines descriptivos, las vías espinales se dividen en ascendentes o descendentes. En este documento se describen con brevedad los tractos de mayor importancia clínica.

Vías motoras descendentes

Vías motoras descendentes del tracto corticoespinal (piramidal)

A lo largo de toda la longitud de la médula espinal, se encuentran haces de fibras nerviosas que se ubican en las regiones lateral y ventral. Estas fibras se encargan de transmitir información motora somática, que se origina en la corteza cerebral y después desciende por la médula oblongada. A medida que avanzan hacia la médula espinal, estos haces se agrupan para formar una estructura conocida como la pirámide, de donde toma su nombre el fascículo piramidal. En la decusación de las pirámides una porción de estas fibras cruza la línea media y entra en el cordón blanco lateral de la médula espinal, donde se agrupan para formar el fascículo corticoespinal lateral. "Las fibras restantes no cruzan en la decusación, sino

que descienden por el cordón blanco anterior de la médula espinal como fascículo corticoespinal anterior” (Snell, 2014, p. 278). De esta forma, esta estructura es esencial para transmitir información motora, desde el cerebro hasta la médula espinal, lo que permite la coordinación y el control de los movimientos corporales.

Las vías motoras descendentes del tracto corticoespinal hacen sinapsis con las neuronas de las astas anteriores, que transmiten información motora a través de las raíces nerviosas motoras y después al músculo objetivo a través de neuronas motoras somáticas (Hardy, 2021). Las vías motoras descendentes en la médula antes de las astas anteriores se denominan neuronas motoras superiores y las de las astas anteriores y los nervios motores somáticos se denominan neuronas motoras inferiores (Hardy, 2021).

Vías motoras descendentes del tracto extrapiramidal

Estas vías surgen en el tallo encefálico y transportan información involuntaria referente a distintos aspectos del control motor (Lemon, 2018). Entre los tractos extrapiramidales más importantes se encuentran:

- Tracto rubroespinal: cuya función se relaciona con el equilibrio.
- Tracto reticuloespinal: encargado de facilitar o inhibir la actividad de las motoneuronas α y λ en los cordones grises anteriores. Por lo tanto, facilitar o inhibir el movimiento voluntario o la actividad refleja.
- Tracto tectoespinal: relacionado con los movimientos posturales reflejos como respuesta a los estímulos visuales.
- Tracto vestibuloespinal: Transmite información sobre el equilibrio desde el sistema vestibular a las extremidades.

Vías ascendentes

Estas fibras se organizan en fascículos y actúan como enlaces entre diferentes segmentos de la médula espinal, conectando la médula con el encéfalo. La información somatosensorial en forma de temperatura, sensación de pinchazo y tacto se transporta anterolateralmente en la médula a través de los tractos

espinotalámicos (también conocidos como tractos anterolaterales). Esta información se remite al tálamo contralateral del cerebro.

Las partes de las columnas dorsales que transmiten información desde las extremidades inferiores se denominan gráciles y las de las extremidades superiores se denominan cuneadas.

Los tractos espinocerebelosos dorsal y ventral son responsables de transmitir información propioceptiva de los músculos, tendones y articulaciones de las extremidades inferiores hacia el cerebelo.

Los tractos de materia blanca también están involucrados para transmitir información relacionada con el control del intestino y la vejiga por parte del sistema nervioso autónomo.

Función y reflejos

Además de recibir señales del cerebro, la médula espinal puede generar una respuesta motora mediante reflejos espinales activados por estímulos externos. Los componentes del arco reflejo espinal monosináptico incluyen aferencias sensoriales primarias que surgen de los receptores periféricos y hacen sinapsis directamente en la médula espinal. Estas aferencias sensoriales se conectan con las neuronas motoras alfa, que forman la vía eferente a un músculo y median una respuesta motora final (Frost *et al.*, 2019). Reflejos polisinápticos más complejos que involucran una respuesta integrada a la información sensorial a través de múltiples segmentos espinales para producir una respuesta motora.

Suministro vascular de la médula espinal

El patrón de suministro arterial a la médula espinal proviene de tres grupos de arterias con una ubicación específica:

1. Las arterias longitudinales que se extienden en dirección craneal hacia caudal, desde la parte superior de la médula cervical hasta el cono medular.

Las arterias radicales que se anastomosan con las arterias longitudinales a lo largo de múltiples segmentos espinales, formando un plexo vascular

conocido como red colateral que explica la resistencia de la médula espinal a la oclusión de las arterias espinales. Estos vasos son arterias terminales y no se anastomosan más, lo anterior se puede correlacionar con la Figura 4.

Las arterias longitudinales

“Tres arterias longitudinales irrigan la médula espinal: una arteria espinal anterior y dos arterias espinales posteriores” (Bowen y Pattany, 1999, s. p.). Estas arterias son descritas en los siguientes puntos en más detalle y se encuentran asociadas con la Figura 5, la Figura 6 y la Figura 7.

Arteria espinal anterior

Es la única que se forma en la cara anterior surge a partir de la unión de las ramas de las arterias vertebrales en el agujero magno y se extiende hasta el cono medular. Sus ramificaciones penetran en la médula espinal para irrigar los dos tercios anteriores de esta (Gruener y Biller, 2008).

El calibre de la arteria es mayor en la región torácica inferior y lumbar superior y, por el contrario, sueña ser pequeña en los segmentos torácicos medios. “Si las arterias segmentarias o radicales se ocluyen en estas regiones, el cuarto segmento torácico y el primer segmento lumbar son especialmente sensibles a la necrosis isquémica” (Snell, 2014, p. 806). La arteria espinal anterior recibe múltiples arterias nutricias que ingresan en dirección caudal a la arteria e irrigan la médula espinal por debajo de este punto de entrada (Grotta *et al.*, 2021).

Arterias espinales posteriores

Se originan de las arterias vertebrales o de las arterias cerebelosas postero-inferiores. Cada una discurre sobre el surco posterolateral cerca de las raíces nerviosas posteriores y son más pequeñas en la región torácica, sobre todo en los tres primeros segmentos torácicos donde: “Son especialmente vulnerables a la isquemia si se ocluyen las arterias segmentarias o radicales en esta región” (Snell, 2014, p. 805).

A lo largo de su curso, cada arteria espinal posterior emite ramas que penetran la médula para irrigar las columnas posteriores, la sustancia gris dorsal y la cara dorsal superficial de las columnas laterales (Grotta *et al.*, 2021).

Arterias radiculares

Treinta y un pares de arterias radiculares penetran en el conducto raquídeo a través de los agujeros intervertebrales. Por lo general, las 62 ramas radiculares contribuyen con la vascularización de la médula espinal y definen tres territorios vasculares arteriales de la médula espinal: cervicotorácico, torácico medio y toracolumbar (Grotta *et al.*, 2021).

Estos afluentes radiculares pueden subdividirse según su origen. El primer grupo conformado por ramas de la arteria subclavia, el segundo grupo se irriga directamente desde la aorta. Este cambio de origen de la afluencia vascular ocurre en el segundo segmento torácico de la médula espinal.

El territorio cervicotorácico consta de los segmentos medulares cervicales, la intumescencia cervical y los dos o tres primeros segmentos torácicos. Esta región recibe mayor afluencia de la arteria espinal anterior, las ramas radiculares medio-cervicales de la arteria vertebral y las ramas del tronco costocervical (Grotta *et al.*, 2021). En el territorio torácico medio comprende los segmentos torácicos cuarto a octavo y suele estar irrigado por una rama radicular que surge aproximadamente al nivel de T7.

Los segmentos torácicos inferiores y lumbares superiores contienen la intumescencia lumbar y el plexo lumbosacro. Esta zona está irrigada por la arteria de Adamkiewicz (también llamada arteria *radicularis magna*), que surge de manera variable desde T8 a T12. La interrupción del flujo sanguíneo a través de esta arteria puede provocar isquemia medular y, posiblemente, daño neurológico permanente. Por esta razón, la localización de la arteria de Adamkiewicz es importante en cirugía espinal y otros procedimientos invasivos que pueden afectar su flujo sanguíneo (Mtui *et al.*, 2021).

Arterias intrínsecas

El riego arterial intrínseco de la médula espinal consiste en un sistema centrípeto (arterias espinales posteriores y los plexos anterolaterales) y un sistema centrífugo (arterias de los surcos anteriores). El sistema centrípeto está formado por arterias radiales dirigidas hacia adentro. El sistema centrípeto irriga las columnas blancas posteriores y el borde periférico de la médula espinal. El sistema centrífugo surge de las ramas de la arteria espinal anterior en el surco medial anterior de la arteria espinal anterior para dirigirse hacia los lados e irrigar sustancia gris y blanca adyacente (Gruener y Biller, 2008).

Fisiología del flujo sanguíneo de la médula espinal

La regulación del flujo sanguíneo de la médula espinal se ve afectado por cambios en la presión de oxígeno (pO_2) y la presión de dióxido de carbono (pCO_2). La hipercapnia es un trastorno en el que se produce un exceso de dióxido de carbono (CO_2) en el torrente sanguíneo. El CO_2 es un gas que se produce como resultado del metabolismo celular normal y se elimina del cuerpo a través de los pulmones. Sin embargo, en casos de hipercapnia, el cuerpo no es capaz de eliminar suficiente CO_2 , lo que conduce a una acumulación excesiva en la sangre. Existen mecanismos de autorregulación que permiten mantener constante la perfusión regional y total en la médula espinal (Grotta *et al.*, 2021).

La irrigación vascular espinal varía según el área de la médula, esto se debe a que la tasa metabólica (y por ende los requerimientos vasculares) son mayores en la sustancia gris (Marcus *et al.*, 1977). De acuerdo con Masson *et al.* (2004), la irrigación espinal intrínseca se relaciona estrechamente con el área de sustancia gris de la médula espinal. Por lo tanto, se observa una mayor irrigación en las intumescencias cervical y lumbar en comparación con otras áreas. Esto significa que estas regiones son más susceptibles a sufrir embolias u obstrucciones trombóticas.

Es importante mencionar que la médula se encuentra dentro del canal espinal, cuyas dimensiones son fijas. Un aumento en la presión en esta área puede

causar una disminución del flujo sanguíneo en la médula espinal y la isquemia subsiguiente (Grotta *et al.*, 2021).

Lesión neurológica en el manejo quirúrgico de la escoliosis idiopática

La escoliosis es una deformidad tridimensional de la columna vertebral que ocurre en los planos sagital, frontal y coronal. En particular, la escoliosis idiopática adolescente está presente cuando la deformidad se reconoce después de los 10 años, pero antes de la madurez esquelética (Azar, 2022). Su incidencia oscila entre el 0.47 % y 5.2 % (Al-Mohrej, 2022), lo que la convierte en la variedad más frecuente de escoliosis idiopática.

La corrección quirúrgica está indicada en curvas torácicas mayores que 45°, dobles curvas mayores que 60° y curvas toracolumbares o lumbares mayores que 60° al final de la maduración esquelética o en curvas mayores que 40° en pacientes con raquis inmaduro o estadios de Risser menores que 3 (Talavera-Mosquera y López-Dolado, 2016). Se ha descrito que entre el 5 % y el 23 % de las personas pacientes sometidas a cirugías de corrección de escoliosis presentan complicaciones. Entre estas se encuentran: cardiopulmonares, abdominales, neurológicas, sepsis, tromboembolismos y la muerte, en 0.1 % de los casos (Menger *et al.*, 2017). La lesión neurológica es una de las complicaciones más temidas, ya que pueden causar una variedad de consecuencias que van desde neuropraxias hasta parálisis completas.

Epidemiología

La prevalencia reportada de lesión neurológica durante la cirugía de corrección de la escoliosis varía de un autor a otro. En general, se han descrito cifras que van desde el 0.13 % al 1.4 % (Samtani *et al.*, 2019; Pahys *et al.*, 2009).

Mecanismo de la lesión

La lesión neurológica se puede presentar durante las maniobras de abordaje, instrumentación y corrección. Puede ser provocada por lesión traumática directa durante la colocación material de osteosíntesis (barras, tornillos, alambres, etc.),

por hematomas intrarraquídeos o por mecanismos indirectos de distracción o compresión que supongan isquemia del tejido neural.

Estas maniobras también pueden generar aumentos en la presión de los vasos sanguíneos que conduce a una disminución del flujo sanguíneo e isquemia de los cordones medulares (Godoy *et al.*, 2015; Pahys *et al.*, 2009). Este mecanismo es el más frecuente (Ingelmo *et al.*, 2010).

Los déficits sensitivos se producen fundamentalmente por contusión o compresión sobre los cordones posteriores del material de osteosíntesis, mientras que los déficits motores tienen lugar por lesiones isquémicas de la médula espinal (Ingelmo *et al.*, 2010, s. p.).

La región medular más vulnerable a la isquemia es la anterolateral (por donde desciende la vía piramidal), irrigada por la arteria espinal anterior. Esta circulación irriga: “A neuronas y sinapsis que son más sensibles a la lesión por hipoperfusión (p.e. anemia, hipotensión, compresión venosa) que la médula posterior, que además recibe flujo de las arterias segmentarias” (Ingelmo *et al.*, 2010, s. p.).

Asimismo, la prolongación excesiva de la hipotensión controlada (cifras tensionales medias <55 mmHg) que se utiliza para reducir las pérdidas sanguíneas puede conducir a hipoxia secundaria por disminución de la hemoglobina (Pahys *et al.*, 2009).

Factores de riesgo

Los factores que se consideran de riesgo para lesiones neurológicas incluyen la edad del paciente antes de la cirugía, la causa de la escoliosis, lo grave de la deformidad y su grado de angulación, la clasificación funcional de la médula espinal, la ubicación de la intervención quirúrgica y el tipo de procedimiento quirúrgico que se haga. En un estudio reciente elaborado por Chen *et al.* (2020), se analizaron los posibles factores de riesgo preoperatorios, intraoperatorios y posoperatorios de 177 pacientes sometidos a procedimientos de corrección de deformidad espinal. En este se hace referencia a la clasificación funcional, un sistema que se basa en el

monitoreo neurofisiológico, la resonancia magnética y los síntomas neurológicos en el que las personas pacientes se clasifican en tres grupos (Yang *et al.*, 2016):

- Grupo A: médula espinal normal, potenciales evocados normales y sin síntomas neurológicos.
- Grupo B: anomalías de la médula espinal o potenciales evocados anormales, pero sin síntomas neurológicos.
- Grupo C: síntomas neurológicos con o sin anomalías de la médula espinal/potenciales evocados anormales.

Los autores han documentado que las complicaciones neurológicas y las alteraciones transoperatorias en los potenciales evocados fueron significativamente más altos en los grupos tipo B y C que en el grupo tipo A. Este estudio sugiere que las personas pacientes con síntomas clínicos preoperatorios o anomalías radiológicas son más susceptibles a la estimulación mecánica.

De acuerdo con el mismo estudio, las personas pacientes con mayor edad son más propensas a presentar lesiones neurológicas. Es posible que la asimetría en el estrés a largo plazo al que se somete la columna sea responsable de la osificación de las articulaciones pequeñas, la reducción de la flexibilidad de los músculos y ligamentos y la disminución de la tolerancia y capacidad de reparación de la médula espinal.

Por otro lado, en un estudio retrospectivo realizado en China por Qiu *et al.* (2008), se revisaron 1373 casos en una misma institución. Las principales conclusiones fueron las siguientes:

- La incidencia de complicaciones neurológicas es mayor en pacientes con escoliosis congénita en comparación con la idiopática del adolescente.
- La ocurrencia total de déficits neurológicos es mayor en pacientes que se sometieron a procedimientos combinados que en aquellos en los que se realizó únicamente un procedimiento posterior. Esta diferencia fue más representativa en pacientes con escoliosis idiopática del adolescente, ya que

la incidencia en procedimientos combinados fue de un 3.85 % y de un 0.64 % en instrumentaciones posteriores.

- La incidencia fue 1.94 % mayor en pacientes con hipercifosis (3.32 %) que en aquellos sin hipercifosis (1.38 %). Esta discrepancia se acentúa un 3.56 % en las personas pacientes con escoliosis idiopática del adolescente con hipercifosis (4.17 %), en comparación con aquellos sin hipercifosis (0.61 %).
- La incidencia es 2.24 % mayor en pacientes con curvas cuyo ángulo de Cobb es superior a 90° (3.69 %) que en aquellos con un ángulo inferior a 90° (1.45 %).
- En la cirugía de revisión aumenta la incidencia de déficit neurológico en un 4.29 % en comparación con la intervención primaria (1.68 % vs. 5.97 %). Esta diferencia fue significativamente mayor en los casos con escoliosis idiopática del adolescente, con una prevalencia 7.51 % mayor en las cirugías de revisión (8.33 %) que en los procedimientos primarios (0.82 %).

Se considera que la localización y el tipo de cirugía se correlacionaron con la severidad y localización de la deformidad, ya que los casos con deformidades severas requieren osteotomías a niveles vertebrales más altos. Esto significa que se deben ejecutar procedimientos más invasivos, que requieren mayor disección y emplear técnicas ligadura o isquemia en zonas de menor tamaño (Chen *et al.*, 2020).

Síndrome del cordón anterior

El síndrome de la arteria espinal anterior se describió por primera vez en 1906 por Spiller en un paciente con una vasculitis sifilítica (Canseco-Lima *et al.*, 2002). La localización más común de las lesiones isquémicas de la médula espinal es el territorio irrigado por la arteria espinal anterior (ver Figura 5). La pérdida de perfusión sanguínea a este nivel produce infarto de los dos tercios anteriores de la médula espinal, lo que afecta las astas grises anteriores, los tractos espinotalámicos y los tractos piramidales (Grotta *et al.*, 2021).

El síndrome clínico ocurre en el nivel de la columna donde ocurre la noxa y es más común en los niveles torácicos y lumbares (Hardy, 2021). Mientras que la paraparesia es una debilidad parcial de las extremidades inferiores, la paraplejia es la pérdida total o parcial de la función motora y sensorial de las extremidades inferiores y de la pelvis. Ambas condiciones pueden provocar dificultades para caminar o mantenerse de pie. Suelen causarse por lesiones en la médula espinal a nivel torácico o lumbar, como lesiones traumáticas, infecciones o enfermedades degenerativas. Esto se asocia con incontinencia o retención urinaria y rectal y una pérdida sensitiva para el dolor y la temperatura en el nivel espinal específico (Grotta *et al.*, 2021).

Debido a la preservación de las columnas posteriores, la propiocepción, el tacto suave y los sentidos de vibración casi siempre están intactos (Hardy, 2021). El diagnóstico se basa en síntomas compatibles característicos de la lesión, además de estudios de imágenes. Sin embargo, existen casos en los que se requiere realizar pruebas de conducción para confirmar el diagnóstico. La resonancia magnética es el estudio de imágenes de mayor importancia, ya que permite llevar a cabo el diagnóstico, determinar la etiología y descartar otros diagnósticos.

Los hallazgos en la resonancia a incluyen imágenes hiperintensas en el nivel de la lesión. Sin embargo, la sensibilidad se limita, varía de 45 % al 73 % en la literatura. No obstante, la sensibilidad aumenta cuando se realizan imágenes en difusión (Quintana Ayala *et al.*, 2020).

Valoración preoperatoria

Historial clínico y examen físico

Para disminuir el riesgo de lesiones neurológicas, es importante llevar a cabo una evaluación médica completa, que incluya una historia clínica detallada y un examen físico para detectar comorbilidades que puedan aumentar el riesgo de lesiones neurológicas y anomalías en el tronco encefálico o la médula espinal (Pahys *et al.*, 2009).

Es especialmente importante indagar sobre el uso crónico de anticonvulsivantes, ya que estos medicamentos pueden alterar la farmacocinética y farmacodinámica de otros medicamentos, lo que incluye a los bloqueadores neuromusculares. Por lo tanto, es crucial que las personas profesionales en Medicina estén al tanto de cualquier medicación que tome el paciente para tomar decisiones informadas y reducir los riesgos asociados con la cirugía.

La escoliosis o cifosis pueden limitar la movilidad cervical normal, produciendo dificultades durante la intubación traqueal. Se debe valorar los arcos de movilidad del cuello y en caso de existir anomalías clínicas se recomienda efectuar proyecciones en flexión y extensión o tomografía computarizada (Goldfarb y Ambardekar, 2021).

Estudios

Se debe contar con un hemograma para descartar anemias preoperatorias y tratarlas con hierro suplementario antes del acto quirúrgico. Además de pruebas de coagulación, función renal y grupo ABO y RH (Wu, 2020).

En la literatura médica existe un consenso generalizado en recomendar una resonancia magnética (RM) preoperatoria en pacientes con ciertos tipos de escoliosis, lo que incluye escoliosis congénita, escoliosis idiopática juvenil e infantil, malformaciones congénitas asociadas (cardíacas, pulmonares, faciales, gastrointestinales, displasias, entre otras) y aquellos pacientes con escoliosis idiopática del adolescente que presenten patrones de curva atípicos (como curvas torácicas superiores izquierdas), cifosis torácica apical, curvaturas rápidamente progresivas, dolores de cabeza excesivos, dolor de espalda atípico o examen neurológico anormal (Pahys *et al.*, 2009).

Una RM preoperatoria ayuda a descartar posibles alteraciones morfológicas del sistema nervioso que puedan aumentar el riesgo de complicaciones durante la cirugía. Por lo tanto, se recomienda que las personas profesionales en Medicina consideren estos factores de riesgo al decidir si es necesario realizar una RM preoperatoria en pacientes con escoliosis.

Valoración pulmonar

La escoliosis progresiva ocasiona un defecto restrictivo con disminución de la capacidad pulmonar y el volumen espiratorio forzado. La severidad del compromiso respiratorio se ha relacionado con la gravedad en la angulación de la curva, el número de vértebras involucradas y la pérdida de la cifosis torácica normal (Goldfarb y Ambardekar, 2021).

Por otro lado, la mayoría de las personas pacientes que se someten a cirugía para corregir la escoliosis idiopática no requieren ventilación mecánica después del procedimiento, puede ser necesario realizar la intubación en el posoperatorio en ciertos casos. Esto es especialmente cierto en pacientes con comorbilidades asociadas, pérdidas sanguíneas importantes o procedimientos prolongados en decúbito prono, los cuales pueden provocar edema de las vías respiratorias o lingual (Goldfarb y Ambardekar, 2021). Por lo tanto, es importante que las personas profesionales en Medicina evalúen cuidadosamente a las personas pacientes y estén preparados para llevar a cabo una intubación si se considera necesaria.

Nutrición

La optimización del estado nutricional antes de la cirugía puede beneficiar la cicatrización de heridas, disminuir el peligro de sepsis y permitir identificar a las personas pacientes con un mayor riesgo de hemorragia (Oetgen y Litrenta, 2017).

Manejo intraoperatorio

La preparación intraoperatoria cuidadosa es obligatoria para una intervención exitosa. Antes de la inducción, el cirujano debe discutir con el anestesista y el personal de neuromonitorización el procedimiento previsto y el tiempo quirúrgico.

Para la inducción de la anestesia se utiliza Propofol intravenoso y una dosis única de relajante neuromuscular no despolarizante como rocuronio o vecuronio (Pahys *et al.*, 2009). Se debe evitar el uso de succinilcolina, ya que está asociado con rhabdomiólisis, hiperpotasemia y paro cardíaco en pacientes con miopatías, neuropatías y aquellos que se encuentran entre las 48 a 72 horas posteriores a una lesión de la médula espinal (Goldfarb y Ambardekar, 2021).

Normotermia

Uno de los factores más importantes por considerar es el mantenimiento de la normotermia, que se refiere al estado normal de la temperatura corporal de un individuo, que oscila entre los 36.5 y 37.5 grados Celsius. Se demuestra que la hipotermia perioperatoria es un factor clave en el aumento de las pérdidas durante los procedimientos quirúrgicos mayores. Entre las estrategias para mantener la temperatura corporal se encuentra el uso del dispositivo de aire caliente forzado, mantener el quirófano caliente hasta que el paciente se encuentre en posición y cubierto, además de aplicar líquidos intravenosos y hemoderivados calientes (Goldfarb y Ambardekar, 2021).

Se recomienda contar con algún dispositivo invasivo de monitoreo continuo de la temperatura central, además de dos accesos venosos periféricos y una línea arterial que permita monitorear la presión arterial (Oetgen y Litrenta, 2017).

Monitoreo de la presión arterial y estrategias de preservación sanguínea

No existe una definición clínica precisa de hipotensión intraoperatoria en niños, aunque se observó que una presión arterial media inferior a 60 mmHg es la mejor definición y se correlaciona con el uso de vasopresores (Santana *et al.*, 2020).

La cirugía de fusión espinal en la población pediátrica supone importantes pérdidas sanguíneas para el paciente, ya que se requiere realizar una extensa disección de tejidos blandos. Estos procedimientos suelen ser largos y casi siempre se deben llevar a cabo instrumentaciones vertebrales u osteotomías (Oetgen y Litrenta, 2017).

La optimización del manejo sanguíneo en estos casos implica técnicas que abarcan los periodos preoperatorio, intraoperatorio y posoperatorio. En resumen, esta información esta presentada en la Tabla 1. En general, los objetivos de estas estrategias son minimizar las pérdidas o prevenir transfusiones alogénicas (Oetgen y Litrenta, 2017). Es esencial mantener una presión arterial adecuada para asegurar la perfusión de la médula espinal durante la cirugía, aunque se debe buscar un equilibrio para minimizar los daños intraoperatorios. Se ha reportado que una

presión arterial media inferior a 55 mmHg aumenta el riesgo de isquemia de la médula espinal (Owen, 1999).

Hipotensión controlada

Se define como una reducción deliberada de la presión arterial sistólica a 80-90 mmHg, una disminución de la presión arterial media (PAM) a 50-65 mmHg o una reducción del 30 % de la PAM inicial que el paciente pediátrico puede estar dentro del rango de 50 a 65 mmHg (Gregory y Andropoulos, 2020).

Sin embargo, en la fusión espinal posterior, el sangrado óseo por decorticación es el que más contribuye con la pérdida de sangre. Esto se debe a que este es predominantemente venoso, las presiones arteriales más bajas pueden no ser tan efectivas para minimizar la pérdida de sangre (Brodsky *et al.*, 1976). Por otro lado, la hipotensión controlada durante la cirugía de escoliosis puede mejorar la visualización del campo quirúrgico y reducir los tiempos asociados.

Es esencial mantener una perfusión adecuada tisular sistémica para evitar los riesgos asociados con la hipotensión sistémica y también es crucial mantener los umbrales de perfusión de la médula espinal. La monitorización de la médula espinal debe evaluarse cuidadosamente para detectar los efectos de la hipotensión y si los potenciales evocados disminuyen ante la hipotensión, se debe aumentar la presión arterial (Gregory y Andropoulos, 2020).

Aproximadamente, 30 minutos antes de realizar las maniobras correctivas, el cirujano debe notificar al anestesiólogo que eleve gradualmente la presión arterial media a >70 mmHg para mantener la perfusión espinal durante la manipulación y corrección de la columna.

Otra complicación de la hipotensión en la cirugía de fusión espinal es la neuropatía óptica isquémica. A pesar de estas preocupaciones, la literatura apoya el uso de la hipotensión controlada (Oetgen y Litrenta, 2017).

Monitoreo neurológico

Antes de contar con la monitorización neurofisiológica, el método de despertar intraoperatorio o *wake-up test* de Stagnara descrito en 1973, era el que más se utilizaba para descartar la aparición de un nuevo déficit neurológico. Sin embargo, este método valora la integridad funcional del sistema motor, sin considerar el sistema sensitivo (Marchant *et al.*, 2023).

Método de despertar intraoperatorio

Esta requiere reversión del bloqueo neuromuscular y disminución de la profundidad de la anestesia. Además, hay riesgo de autoextubación, pérdida de vías periféricas, cambios en la posición segura, embolia grasa y recuerdo posoperatorio del evento (Spitzer *et al.*, 2022). En la actualidad, esta prueba no se realiza de forma rutinaria, solo se reserva para ciertos casos que presentan alteraciones en los potenciales evocados (Gregory y Andropoulos, 2020).

Pruebas neurofisiológicas relevantes en la cirugía espinal

Potenciales evocados somatosensoriales (PESS)

La comunicación entre las células del sistema nervioso se produce mediante la generación de actividad eléctrica y la transmisión de señales químicas. Los estudios neurofisiológicos se enfocan en capturar y analizar estas señales eléctricas, conocidas como potenciales de acción, que son fundamentales en los procesos fisiológicos del sistema nervioso y sus conexiones (Marchant *et al.*, 2022; López Quiros, 2022).

Mediante el uso de electrodos en distintas regiones anatómicas, estas señales se registran y se transmiten a través de cables para después interpretarse clínicamente. Esto permite la evaluación intraoperatoria de la función de la médula espinal a través de la retroalimentación en tiempo real de los tractos sensoriales, los tractos motores y las raíces nerviosas individuales (Charalampidis *et al.*, 2020).

El monitoreo de PESS se informó por primera vez por Nash *et al.* (1977) como método de la monitorización intraoperatoria de la columna vertebral. Este consiste en estímulos eléctricos bipolares, efectuados de manera repetida en varios

nervios periféricos que producen una despolarización de la membrana neuronal. El estímulo se propaga del nervio periférico al plexo nervioso, pasa por el ganglio de la raíz dorsal y asciende por los axones de los tractos dorso-mediales (columnas posteriores) de la médula espinal, a la corteza contralateral (López Quirós, 2022).

Estos permiten la monitorización de las vías sensoriales y la detección de cambios neurológicos perioperatorios con excelente fiabilidad (Nuwer *et al.*, 1995). Las variables medidas para los PESS incluyen tanto la altura de la respuesta (amplitud) como el tiempo que tarda la respuesta en viajar, desde la periferia hasta el sistema nervioso central (latencia). Los cambios significativos incluyen una reducción en la amplitud de $\geq 50\%$ o un aumento en la latencia de $\geq 10\%$ (Gregory y Andropoulos, 2020).

Aunque los PESS se monitorizan continuamente durante la cirugía, su interpretación requiere una suma temporal, lo que puede retrasar la detección de un cambio de señal hasta 16 minutos (Charalampidis *et al.*, 2020).

Los PESS pueden verse afectados por los agentes anestésicos, sobre todo el óxido nítrico y los fármacos inhalados, ya que estos provocan una disminución de la amplitud y un aumento de la latencia. Por otro lado, se demuestra que los agentes anestésicos intravenosos tienen menos efecto sobre los PESS, por lo que es preferible utilizar anestesia intravenosa total con Propofol o Midazolam combinados con un opioide. Se recomienda el uso de monitores de profundidad de anestesia, pues un plano de anestesia demasiado profundo disminuirá la capacidad de obtener monitores neurofisiológicos fiables. Los bloqueadores neuromusculares no tienen efecto sobre los PESS, pero eliminarán la capacidad de obtener PEM (Gregory y Andropoulos, 2020).

Potenciales evocados motores transcraneales (PEM)

Según López Quirós (2022):

La activación de las vías de señalización motoras permite cuantificar la relación entre un estímulo cortical y la respuesta motora, brindando así información acerca del aparato motor/efector completo: las áreas corticales y vías

motoras involucradas, y especialmente el tracto corticoespinal (p. 16).

Este tipo de estudio se realiza mediante la colocación de electrodos sobre el giro precentral, los cuales permiten estimular eléctricamente la neurona motora superior y, por lo tanto, generar una señal que se transmite a través de las vías motoras. Esta señal viaja desde los ganglios basales hasta las pirámides, pasando por el tracto corticoespinal y haciendo sinapsis con la motoneurona inferior que, a la vez, se conecta con el nervio periférico para producir contracción muscular. Este proceso permite evaluar la función de las vías motoras y su relación con la actividad cortical, lo que resulta útil para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades neuromusculares. “El potencial de acción inducido por la contracción muscular se puede medir a través de electrodos de registro, analizando su latencia y amplitud” (López Quirós, 2022, p. 17).

A diferencia de los PESS, donde la pérdida de señal es un identificador universal de la alteración del estado neurológico, los PEM permiten identificar cambios significativos en la función motora a través de los siguientes tres criterios (Spitzer *et al.*, 2022):

- Técnica de amplitud: consiste en la disminución de la amplitud (generalmente alrededor del 60 %-80 %) con respecto a un estímulo determinado previamente. Se considera el método más común.
- Técnica de umbral: analiza el estímulo mínimo necesario para provocar una respuesta, donde un aumento significativo de 100 voltios en la respuesta puede indicar cambios en la función motora.
- Técnica de todo o nada: permite tanto el aumento del umbral de estímulo como la disminución de la amplitud siempre que las respuestas sean reproducibles y registrables. Esta técnica se basa en la ausencia total de respuesta de PEM previamente evocables.

Debido a la limitación en la irrigación sanguínea de la sustancia gris de la médula, el PEM obtenido mediante la estimulación eléctrica transcraneal es el indicador más sensible para detectar la isquemia medular (Spitzer *et al.*, 2022).

Muchos estudios han examinado el efecto del monitoreo de PEM en la cirugía correctiva medular. En todos ellos se reportó que la pérdida permanente o transitoria de PEM tiene correlación con la disfunción motora de larga data (Dikmen *et al.*, 2021).

Las principales contradicciones relativas para el monitoreo PEM incluyen epilepsia, lesión de la corteza, defectos en el cráneo, alta presión intracraneal, aparatos intracraneales (electrodos, *clip* vascular y *shunts*), marcapasos cardíaco y otros implantes (Marchant *et al.*, 2023).

Con base en la amplia literatura que respalda el uso del monitoreo neurológico intraoperatorio (IONM) en pacientes con escoliosis idiopática adolescente, se estableció que ambas técnicas de neuromonitoreo, PESS y PEM, presentan ventajas únicas y complementarias. Por lo tanto, el uso combinado de ambas técnicas de manera rutinaria se considera el estándar de oro actual (Spitzer *et al.*, 2022).

Descripción del caso clínico

Durante el seguimiento con duración de 5 años de una paciente con escoliosis idiopática adolescente, se encontró una curvatura torácica proximal principal de más de 100 grados, así como curvaturas torácicas y lumbares rígidas. Por esto, se determinó que el tratamiento quirúrgico era necesario, utilizando instrumentación posterior con tornillos transpediculares y barras desde T2 a L4. Asimismo, la paciente había alcanzado la suficiente madurez sexual (tenía 2 años desde la menarca) y esquelética (Tanner 4 y Risser 5).

Para fines de este trabajo, se realiza una valoración preoperatoria por el equipo de columna pediátrica del Servicio de Ortopedia. Durante esta evaluación, se realizan las siguientes intervenciones como parte de protocolo del servicio:

1. Historia clínica detallada del paciente, en la que se descartan comorbilidades, tratamientos preexistentes y alergias a medicamentos. Fecha de menarca, como anotado previamente 2 años.
2. Examen físico completo, en que se excluyen malformaciones congénitas, lesiones de tejidos blandos y se descartan procesos sépticos agudos. Además,

se hace el examen neurológico completo para descartar la presencia de lesión neurológica previa.

3. Valoración de imágenes:

- Radiografía anteroposterior (AP) y lateral de la columna vertebral completa, incluida la pelvis.
- Radiografías con maniobra de flexión y extensión, conocidas como *radiografías bending*, para evaluar la movilidad de la columna vertebral y determinar si la curvatura de la escoliosis es estructurada o no estructurada.
- Tomografía axial computarizada (TAC), se utiliza para evaluar la anatomía de la columna vertebral, lo que incluye la forma y magnitud de la curvatura, la posición y tamaño de las vértebras. Lo anterior tiene el fin de que se determine la técnica quirúrgica más adecuada para corregir la curvatura y planificar la colocación precisa de los implantes quirúrgicos.
- Resonancia magnética, se utiliza para estudiar los tejidos blandos cercanos a la columna vertebral, como los discos intervertebrales, ligamentos y músculos, la médula espinal y las raíces nerviosas, con el objetivo de descartar anomalías espinales asociadas con lesiones en la médula espinal.

4. Se solicitaron y revisaron exámenes de laboratorio completos, incluidos el *test* de COVID-19 y grupo ABO y RH.

5. Se realizó el planeamiento preoperatorio, abordaje, técnica quirúrgica y se determinó cuales materiales se utilizan, así como las mediciones radiológicas pertinentes para determinar el posible tamaño de los tornillos y se comprueba la disponibilidad de estos.

6. Se coordinaron con el banco de sangre las reservas de hemocomponentes y se confirmó la disponibilidad de estos.

7. Se solicitó la valoración preoperatoria por pediatría, en la que se descartan otras comorbilidades médicas. Además, se realizó una valoración

cardiopulmonar completa y se revisaron nuevamente las pruebas de laboratorio. Se descarta la presencia de anemia, coagulopatías y procesos sépticos agudos (incluida la prueba COVID-19 para descartar infección asintomática).

8. Se efectuó interconsulta con el servicio de anestesia pediátrica y se comentó el caso.
9. Se realizó coordinación con el servicio de cuidados intensivos, para que este servicio conociera el caso y se cuente con disponibilidad de espacio en la unidad para recibir al paciente en el posoperatorio inmediato.
10. Se comprobó la disponibilidad del equipo y el personal de neuromonitoreo transoperatorio con el servicio de fisioterapia y se discutió el caso con estos.
11. Se realizó la orden de internamiento de la paciente para el día antes de la cirugía.
12. Se verificó que el estado nutricional de la paciente fuera el adecuado.
13. Se realizaron las recetas para el antibiótico prequirúrgico profiláctico.

Durante la intervención quirúrgica, que se llevó a cabo bajo control neurofisiológico, se realizó un abordaje longitudinal después de lo largo de la línea media desde el nivel T2 hasta el L4. Durante la cirugía, la paciente presentó un sangrado copioso, lo que requirió una hemostasia exhaustiva y un control cercano de la volemia por parte del anestesiólogo.

Durante la disección por planos y liberación del periostio de las apófisis espinosas, láminas, articulaciones facetarias y apófisis transversas en todos los niveles no se reportaron alteraciones en el neuromonitoreo.

Sin embargo, durante la colocación de los transpediculares, anestesia solicitó detener procedimiento, ya que la paciente cursaba con hipotensión transitoria. Se interrumpió la instrumentación y en este momento se describe una caída de todos los potenciales motores evocados, por lo que se procede a corroborar la posición adecuada de los tornillos colocados mediante fluoroscopia y se comprueba

mediante estimulación eléctrica que ningún tornillo se encontraba en contacto con estructuras nerviosas.

Enseguida, el personal de anestesia indica recuperación hemodinámica, por lo que se continúa proceso de instrumentación. No se identifican alteraciones y el fisiatra indica que se puede continuar por lo que se inicia proceso de reducción segmentaria.

Durante la intervención quirúrgica, se realizó una nueva prueba de los tornillos sin observar datos de irritación medular ni radicular. Posteriormente, se llevó a cabo la prueba del despertar en los miembros inferiores, la cual no obtuvo respuesta, lo que llevó a realizar una descompresión posterior y una osteotomía de Smith-Petersen en el ápex de la curva torácica principal para determinar si había compresión. Sin embargo, durante la intervención no se observaron cambios significativos. Se decide ampliar la descompresión para disminuir la tensión medular, sin obtener respuesta. Por esto, se decide suspender la instrumentación, quitar la reducción inicial y se fijan únicamente 4 tornillos izquierdos y 5 derechos al ápex donde está la descompresión para evitar inestabilidad. Se realizó nuevo *test* despertar sin respuesta en miembros inferiores.

La paciente se trasladó a la unidad de cuidados intensivos, donde se administraron esteroides y se documentó nueva caída en la hemoglobina y plaquetas, por lo que solicitó otra transfusión. En total, se estima que el sangrado quirúrgico masivo de la paciente fue de 8 l, la misma requirió transfusión de aproximadamente 9 unidades de glóbulos rojos empacados (5 l), 1 *pool* de plaquetas, 4 unidades de plasma fresco congelado y una unidad de crioprecipitados.

Una vez que la paciente se encontraba hemodinámicamente estable, sin ventilación mecánica ni vasopresores, se documentaron hipoestesis y parálisis flácida con ausencia de reflejos sacros y osteotendinosos en los miembros inferiores. Ante la falta de evidencia transoperatoria de lesión mecánica sobre médula se decidió descartar lesión isquémica medular mediante resonancia magnética.

La resonancia magnética no mostró datos de compresión ni sección medular mecánica. Los hallazgos de esta fueron únicamente cambios inflamatorios de la musculatura perivertebral, líquido después de las láminas dorsales y edema de tejidos blandos grasos posteriores.

En los días siguientes al posoperatorio la paciente recibió terapia en cámara hiperbárica y un programa rehabilitador intensivo consistente en fisioterapia. Además, se brindó acompañamiento psicológico a la paciente y su familia.

A pesar de esto, en un estudio realizado *a posteriori*, se documentó ausencia de señales en todo el trayecto motor espinal. De esta forma, el diagnóstico de infarto del asta anterior de la médula espinal ha sido reportado.

Discusión

Según la literatura publicada sobre la correlación con el caso clínico, se evidencia que la hipotensión, causada por el sangrado intraoperatorio, conduce a una disminución de la perfusión en las regiones más sensibles de la médula espinal, en particular en el asta anterior. La paciente no contaba con otras patologías asociadas con su escoliosis que supusieran un aumento en el riesgo para la lesión neurológica por isquemia. Sin embargo, en este trabajo se identificó que contaba con múltiples factores de riesgo, entre estos curvaturas estructuradas superiores a 100 grados, deformidad cifótica asociada, además de una clasificación de la columna tipo B. Con base en las características de su deformidad, requería de la intervención quirúrgica y corrección en la mayoría de los segmentos medulares de la columna vertebral.

Es importante destacar que preoperatoriamente y transoperatoriamente se tomaron las medidas que se recomiendan en la literatura para reducir este tipo de complicaciones. Esto permite deducir que el factor determinante de más relevancia en el riesgo de la lesión neurológica parecieran ser las cualidades de la deformidad espinal y su tiempo de evolución.

Conclusiones

La tasa metabólica y los requerimientos vasculares son superiores en la sustancia gris que en la blanca. La irrigación espinal es directamente proporcional al área de sustancia gris. Por lo tanto, es mayor en los abultamientos cervical y lumbar, lo que convierte las noxas isquémicas en las más sensibles.

Los factores de riesgo para la lesión neurológica son una mayor preoperatoria, escoliosis neuromuscular, curvas con angulación mayor que 90 grados, presencia de hipercifosis, clasificación funcional tipo b y c y en procedimientos combinados y de revisión.

La isquemia del territorio irrigada por la arteria espinal anterior produce infarto de los dos tercios anteriores de la médula espinal. Lo anterior afecta las astas grises anteriores, los tractos espinotalámicos y los tractos piramidales.

La presentación clínica del síndrome del cordón anterior como paraparesia o paraplejia (con o sin dolor) que respeta las extremidades superiores asocia incontinencia o retención urinaria y rectal y una pérdida sensitiva para el dolor y la temperatura en el nivel espinal específico.

El factor determinante de más relevancia en el riesgo de la lesión neurológica pareciera ser las cualidades de la deformidad espinal y su tiempo de evolución.

Bibliografía

- Al-Mohrej, O. A.; Aldakhil, S. S.; Al-Rabiah, M. A. y Al-Rabiah, A. M. (2020). Surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis: Complications. *Annals of Medicine and Surgery (2012)*, 52, 19-23.
<https://doi.org/10.1016/j.amsu.2020.02.004>
- Andropoulos, D. B. (2020). *Gregory pediatric anesthesia* (6th edition). Wiley-Blackwell.
- Aparicio-Morales, A.; Fiallo, Y. y González, A. (2020). Hipotensión controlada en cirugía espinal. *Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología*, 34.
- Azar, F. M. y Beaty, J. H. (Eds.). (2022). *Cirugía Ortopédica* (14.^a ed.). Elsevier.
- Bowen, B. C. y Pattany, P. M. (1999). Vascular anatomy and disorders of the lumbar spine and spinal cord. *Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America*, 7(3), 555-571.
- Brodsky, J. W.; Dickson, J. H.; Erwin, W. D. y Rossi, C. D. (1976). Hypotensive anesthesia for scoliosis surgery in JehovahWitnesses. *Spine*, 16, 304-306.
- Canseco-Lima, J. M.; Allende-Carrera, R.; Rodríguez-Leyva, I. y García-López, O. (2002). Síndrome de la arteria espinal. *Rev Mex Neuroci*, 3(3), 131-134.
- Charalampidis, A.; Jiang, F.; Wilson, J. R. F.; Badhiwala, J. H.; Brodke, D. S. y Fehlings, M. G. (2020). The use of intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery. *Global Spine Journal*, 10(1 Suppl), 104S-114S.
<https://doi.org/10.1177/2192568219859314>
- Cheh, G.; Lenke, L. G.; Padberg, A. M.; Kim, Y. J.; Daubs, M. D.; Kuhns, C.; Stobbs, G. y Hensley, M. (2008). Loss of spinal cord monitoring signals in children during thoracic kyphosis correction with spinal osteotomy: why does it occur and what should you do? *Spine*, 33(10), 1093-1099.

<https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31816f5f73>

Chen, J.; Shao, X.-X.; Sui, W.-Y.; Yang, J.-F.; Deng, Y.-L.; Xu, J.; Huang, Z.-F. y Yang, J.-L. (2020). Risk factors for neurological complications in severe and rigid spinal deformity correction of 177 cases. *BMC Neurology*, 20(1), 433. <https://doi.org/10.1186/s12883-020-02012-8>

Dikmen, P. y., Halsey, M. F.; Yucekul, A., de Kleuver, M.; Hey, L.; Newton, P. O.; Havlucu, I.; Zulemyan, T.; Yilgor, C. y Alanay, A. (2021). Intraoperative neuromonitoring practice patterns in spinal deformity surgery: a global survey of the Scoliosis Research Society. *Spine Deformity*, 9(2), 315-325. <https://doi.org/10.1007/s43390-020-00246-7>

Dubousset, J. (2020). Past, present, and future in pediatric spinal surgery. *Annals of Translational Medicine*, 8(2), 36. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.08.13>

Frost, B.; Camarero-Espinosa, S. y Foster, E. (2019). Materials for the spine: Anatomy, problems, and solutions. *Materials*, 12(2), 253. <https://doi.org/10.3390/ma12020253>

Gavaret, M.; Pesenti, S.; Diop-Sene, M. S.; Choufani, E.; Bollini, G. y Jouve, J.-L. (2017). Intraoperative spinal cord monitoring: Lesional level diagnosis. *Orthopaedics y Traumatology, Surgery y Research: OTSR*, 103(1), 33-38. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2016.09.021>

Godoy, M. A.; Tello, C. A.; Francheri, I. A.; Noel, M.; Galaretto, E.; Remondino, R. y Bersusky, E. S. (2015). Evolución de las complicaciones neurológicas en la cirugía de deformidades vertebrales en la infancia. *Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología*, 80(1), 43. <https://doi.org/10.15417/412>

Goldfarb, T. y Ambardekar, A. P. (2021). Gregory pediatric anesthesia (6th ed.). *Anesthesia and Analgesia*, 132(5), e71-e71. <https://DOI.org/10.1213/ane.00000000000005477>

- Gregory, G. A. y Andropoulos, D. B. (2020). *Gregory Pediatric Anesthesia*. Standards Information Network.
- Grotta, J. C.; Albers, G. W.; Broderick, J. P.; Kasner, S. E.; Lo, E. H.; Sacco, R. L.; Wong, L. K. y Day, A. L. (Eds.). (2021). *Stroke E-book: Pathophysiology, diagnosis, and management* (7.^a ed.). Elsevier.
- Gruener, G. y Biller, J. (2008). Spinal cord anatomy, localization, and overview of spinal cord syndromes. *Continuum (Minneapolis, Minn.)*, 14, 11-35.
<https://doi.org/10.1212/01.con.0000324122.16947.75>
- Hardy, T. A. (2021). Spinal cord anatomy and localization. *Continuum (Minneapolis, Minn.)*, 27(1), 12-29.
<https://doi.org/10.1212/COn0000000000000899>
- Hariharan, A. R.; Shah, S. A.; Petfield, J.; Baldwin, M.; Yaszay, B.; Newton, P. O.; Lenke, L. G.; Lonner, B. S.; Miyajima, F.; Sponseller, P. D.; Samdani, A. F. y Harms Study Group. (2022). Complications following surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis: a 10-year prospective follow-up study. *Spine Deformity*, 10(5), 1097-1105. <https://doi.org/10.1007/s43390-022-00508-6>
- Incomplete spinal cord syndromes. (s. f.).
https://www.amboss.com/us/knowledge/Incomplete_spinal_cord_syndrome
- Ingelmo, I.; Domínguez Pérez, F.; Pinto Corraliza, J. M.; Fábregas Juliá, N.; Rama-Maceiras, P.; Hernández Palazón, J.; Badenes Quiles, R.; Burgos Flores, J.; Hevia Sierra, E.; Mhaidli Hamdan, H.; barrios Pitarque, C.; Pizá Vallespir, G.; Sanpera Trigueros, I.; Doménech Fernández, P.; Álvarez García de Quesada, I.; Riquelme García, O.; García Alonso, M.; Ramos Galea, R.; Gutiérrez Carbonell, P., ... Soler Algarra, S. (2010). Recomendaciones -guía- en la lesión aguda medular intraoperatoria en cirugía correctora del raquis. *Revista española de anestesiología y reanimación*, 57(2), 103-108. [https://doi.org/10.1016/s0034-9356\(10\)70172-](https://doi.org/10.1016/s0034-9356(10)70172-)

- Koraki, E.; Stachtari, C.; Stergiouda, Z.; Stamatopoulou, M.; Gkiouliava, A.; Sifaki, F.; Chatzopoulos, S. y Trikoupi, A. (2020). Blood and fluid management during scoliosis surgery: a single-center retrospective analysis. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology: Orthopedie Traumatologie*, 30(5), 809-814. <https://doi.org/10.1007/s00590-020-02637-y>
- Lemon, R. N. (2008). Descending pathways in motor control. *Annual Review of Neuroscience*, 31(1), 195-218. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.31.060407.125547>
- López Quirós, J. (2022). *Propuesta de Protocolo para Neuromonitoreo Intraoperatorio en Cirugía de Deformidad de Columna: Escoliosis Idiopática y Escoliosis Degenerativa*. <https://kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/86232>
- Marchant, J.; Aracena, F.; Henríquez, A. y Cabrera, J. P. (2023). Monitorización neurofisiológica intraoperatoria en cirugía de columna. *Revista chilena de anestesia*, 51(3). <https://doi.org/10.25237/revchilanestv5116031531>
- Marcus, M. L.; Heistad, D. D.; Ehrhardt, J. C. y Abboud, F. M. (1977). Regulation of total and regional spinal cord blood flow. *Circulation Research*, 41(1), 128-134. <https://doi.org/10.1161/01.res.41.1.128>
- Masson, C.; Pruvo, J. P.; Meder, J. F.; Cordonnier, C.; Touzé, E.; De La Sayette, V.; Giroud, M.; Mas, J. L.; Leys, D. y Study Group on Spinal Cord Infarction of the French Neurovascular Society. (2004). Spinal cord infarction: clinical and magnetic resonance imaging findings and short term outcome. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 75(10), 1431-1435. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2003.031724>
- McVey, M. J.; Lau, W.; Naraine, N.; Zaarour, C. y Zeller, R. (2021). Perioperative blood conservation strategies for pediatric scoliosis surgery. *Spine Deformity*, 9(5), 1289-1302. <https://doi.org/10.1007/s43390-021-00351-1>

- Menger, R. P.; Kalakoti, P.; Pugely, A. J.; Nanda, A. y Sin, A. (2017). Adolescent idiopathic scoliosis: risk factors for complications and the effect of hospital volume on outcomes. *Neurosurgical focus*, 43(4), E3.
<https://doi.org/10.3171/2017.6.focus17300>
- Moore, K. L.; Dalley, A. F., II y Agur, A. (2018). *Anatomía con orientación clínica* (8.^a ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Mtui, E.; Gruener, G. y Dockery, P. (2020). *Fitzgerald Clinical Neuroanatomy and Neuroscience* (8.^a ed.). Elsevier Health Sciences.
- Nash, C. L.; Jr., Lorig, R. A.; Schatzinger, L. A. y Brown, R. H. (1977). Spinal cord monitoring during operative treatment of the spine. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, (126), 100-105. <https://doi.org/10.1097/00003086-197707000-00014>
- Neira, V. M.; Ghaffari, K.; Bulusu, S.; Moroz, P. J.; Jarvis, J. G.; Barrowman, N. y Splinter, W. (2016). Diagnostic accuracy of neuromonitoring for identification of new neurologic deficits in pediatric spinal fusion surgery. *Anesthesia and Analgesia*, 123(6), 1556-1566.
<https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000001503>
- Nuwer, M. R.; Dawson, E. G.; Carlson, L. G.; Kanim, L. E. y Sherman, J. E. (1995). Somatosensory evoked potential spinal cord monitoring reduces neurologic deficits after scoliosis surgery: results of a large multicenter survey. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 96(1), 6-11.
[https://doi.org/10.1016/0013-4694\(94\)00235-d](https://doi.org/10.1016/0013-4694(94)00235-d)
- Oetgen, M. E. y Litrenta, J. (2017). Perioperative blood management in pediatric spine surgery. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 25(7), 480-488. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-16-00035>
- Owen, J. H. (1999). The application of intraoperative monitoring during surgery for spinal deformity. *Spine*, 24(24), 2649-2662.

<https://doi.org/10.1097/00007632-199912150-00012>

- Pahys, J. M.; Guille, J. T., D'Andrea, L. P.; Samdani, A. F.; Beck, J. y Betz, R. R. (2009). Neurologic injury in the surgical treatment of idiopathic scoliosis: guidelines for assessment and management. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 17(7), 426-434.
<https://doi.org/10.5435/00124635-200907000-00003>
- Qiu, Y.; Wang, S.; Wang, B.; Yu, Y.; Zhu, F. y Zhu, Z. (2008). Incidence and risk factors of neurological deficits of surgical correction for scoliosis: Analysis of 1373 cases at one Chinese institution. *Spine*, 33(5), 519-526.
<https://doi.org/10.1097/brs.0b013e3181657d93>
- Quintana Ayala, J. J.; Mazón López, L. A.; Seminario Vergara, E. R.; Novillo Arévalo, M. B.; Molina Collantes, C. A.; Behr Salvador, M. S. y Pacheco Idrovo, E. P. (2020). Síndrome de Arteria Espinal Anterior. *Revista ecuatoriana de neurología*, 29(1), 158-160.
<https://doi.org/10.46997/revecuatneurol29100158>
- Samtani, R. G.; Bernatz, J. T.; Halanski, M. A. y Noonan, K. J. (2019). Cervical spine injury following thoracic spinal fusión for adolescent idiopathic scoliosis. *Cureus*, 11(10), e5840. <https://doi.org/10.7759/cureus.5840>
- Santana, L.; Kiebzak, G. M.; Toomey, N. y Maul, T. M. (2020). Blood pressure measurements during intraoperative pediatric scoliosis surgery. *Saudi Journal of Anaesthesia*, 14(2), 152-156.
https://doi.org/10.4103/sja.SJA_570_19
- Sarwahi, V.; Galina, J.; Thornhill, B.; Legatt, A.; Pawar, A.; Moguilevich, M. y Amaral, T. D. (2020). A study of critical events that lead to spinal cord injury and the importance of rapid reversal of surgical steps in improving neurological outcomes: A porcine model: A porcine model. *Spine*, 45(4), E181-E188. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003229>

- Snell, R. S. (2014). *Neuroanatomía clínica: Edición revisada*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Spitzer, A.; Patel, R.; Hasan, S.; Blas, D.; Floccari, L.; Glotzbecker, M.; Murphy, J.; Fletcher, N.; Gómez, J., POSNA QSVI Committee. (2022). Absent baseline intraoperative neuromonitoring signals part I: Adolescent idiopathic scoliosis. *Journal of the Pediatric Orthopaedic Society of North America*, 4(1), 1-12. <https://doi.org/10.55275/jposna-2022-0018>
- Stondell, C. y Roberto, R. (2022). Erector spinae plane blocks with liposomal bupivacaine for pediatric scoliosis surgery. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. Global Research & Reviews*, 6(1). <https://doi.org/10.5435/JAAOSGlobal-D.-21-00272>
- Talavera-Mosquera, J. M. y López-Dolado, E. (2016). Daño medular intraoperatorio en cirugía de escoliosis idiopática: reinstrumentar y cuándo. *Rehabilitación*, 50(3), 199-203. <https://doi.org/10.1016/j.rh.2016.04.002>
- Walker, C. T.; Kim, H. J.; Park, P.; Lenke, L. G.; Weller, M. A.; Smith, J. S.; Nemergut, E. C.; Sciubba, D. M.; Wang, M. y., Shaffrey, C.; Deviren, V.; Mummaneni, P. V.; Chang, J. M.; Mummaneni, V. P.; Than, K. D.; Berjano, P.; Eastlack, R. K.; Mundis, G. M.; Jr., Kanter, A. S. *et al.* (2020). Neuroanesthesia guidelines for optimizing transcranial motor evoked potential neuromonitoring during deformity and complex spinal surgery: A Delphi consensus study: A Delphi consensus study. *Spine*, 45(13), 911-920. <https://doi.org/10.1097/BRS.00000000000003433>
- Wu, J. P. (2020). Pediatric anesthesia concerns and management for orthopedic procedures. *Pediatric Clinics of North America*, 67(1), 71-84. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2019.09.006>
- Yang, J.-L.; Huang, Z.-F.; Yin, J.-Q.; Deng, Y.-L.; Xie, X.-B.; Li, F.-B. y Yang, J.-F. (2016). A proposed classification system for guiding surgical strategy in cases of severe spinal deformity based on spinal cord function. *European*

Spine Journal: Official Publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine. *Research Society*, 25(6), 1821-1829.

<https://doi.org/10.1007/s00586-015-4367-2>

Anexos

Anexo 1. Tablas

Tabla 1

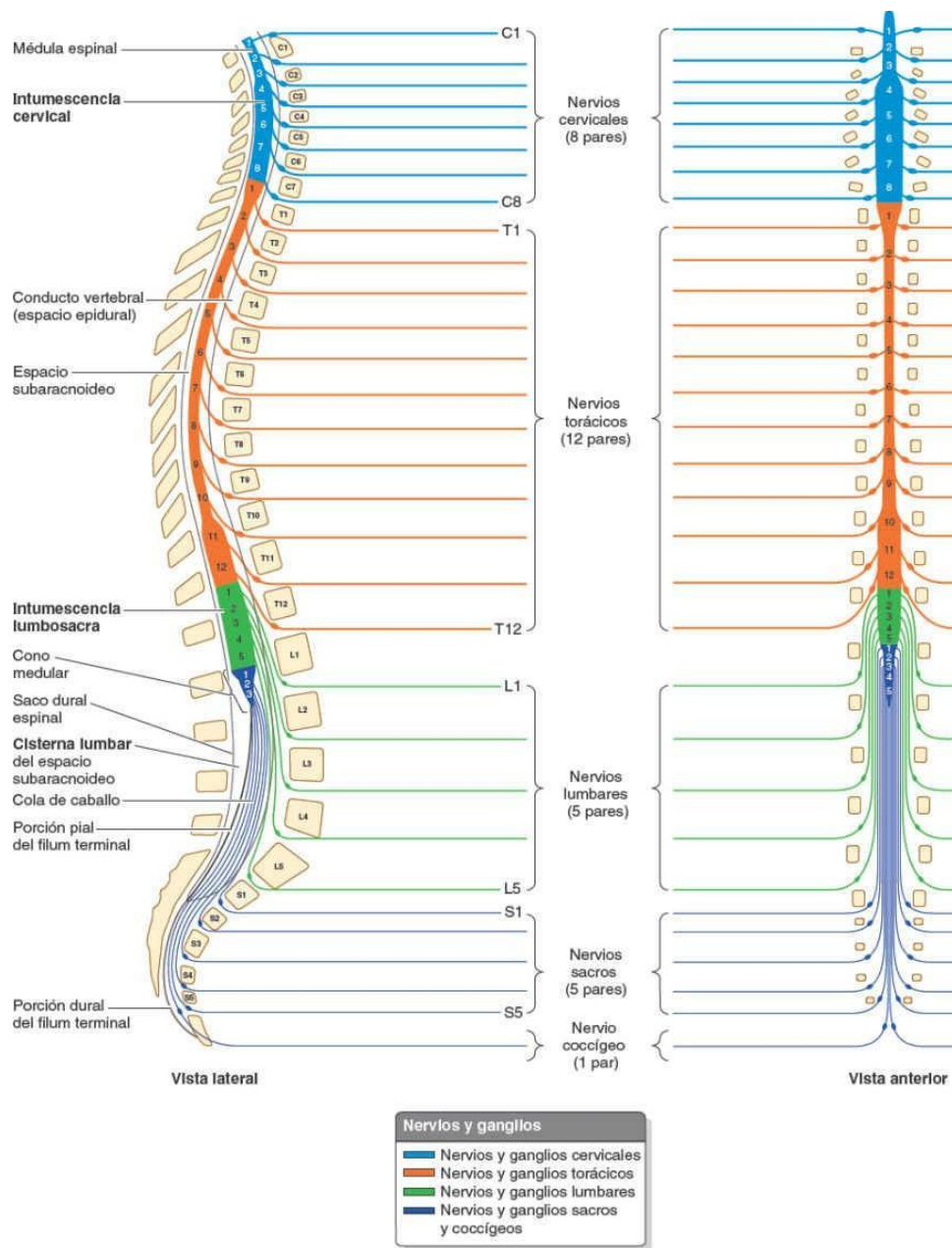
Estrategias de conservación de sangre para el manejo quirúrgico de la escoliosis

Estrategia	Minimizar la pérdida de sangre	Prevención de la transfusión alogénica
Intervenciones preoperatorias	-	Suplementos de hierro, eritropoyetina, predonación autóloga
Prácticas anestésicas	Hipotensión controlada, bloqueo epidural, hemodilución normovolémica aguda	-
Agentes farmacológicos	Agentes antifibrinolíticos, desmopresina	-
Técnicas quirúrgicas	Productos hemostáticos, Sistema Aquamantys (Medtronic)	Salvamento celular intraoperatorio
Intervenciones posoperatorias	-	Disparadores fisiológicos de transfusión, autólogo

Anexo 2. Figuras

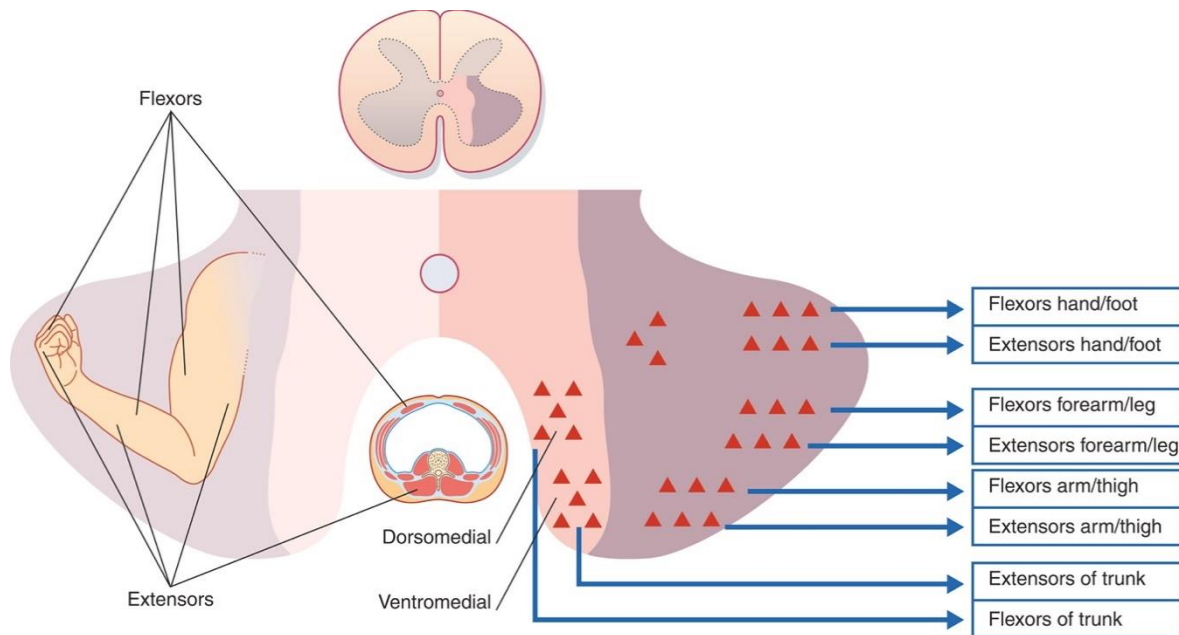
Figura 1

Ilustración de la anatomía macroscópica de la médula espinal y las raíces nerviosas espinales



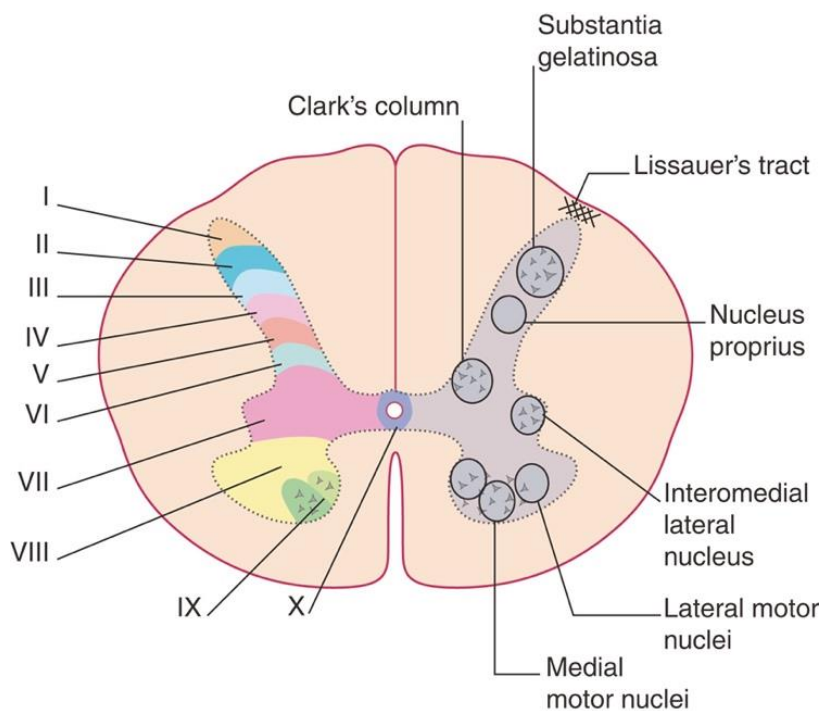
Nota. Tomado de Moore (2013).

Figura 2
Organización de las astas anteriores de la médula espinal



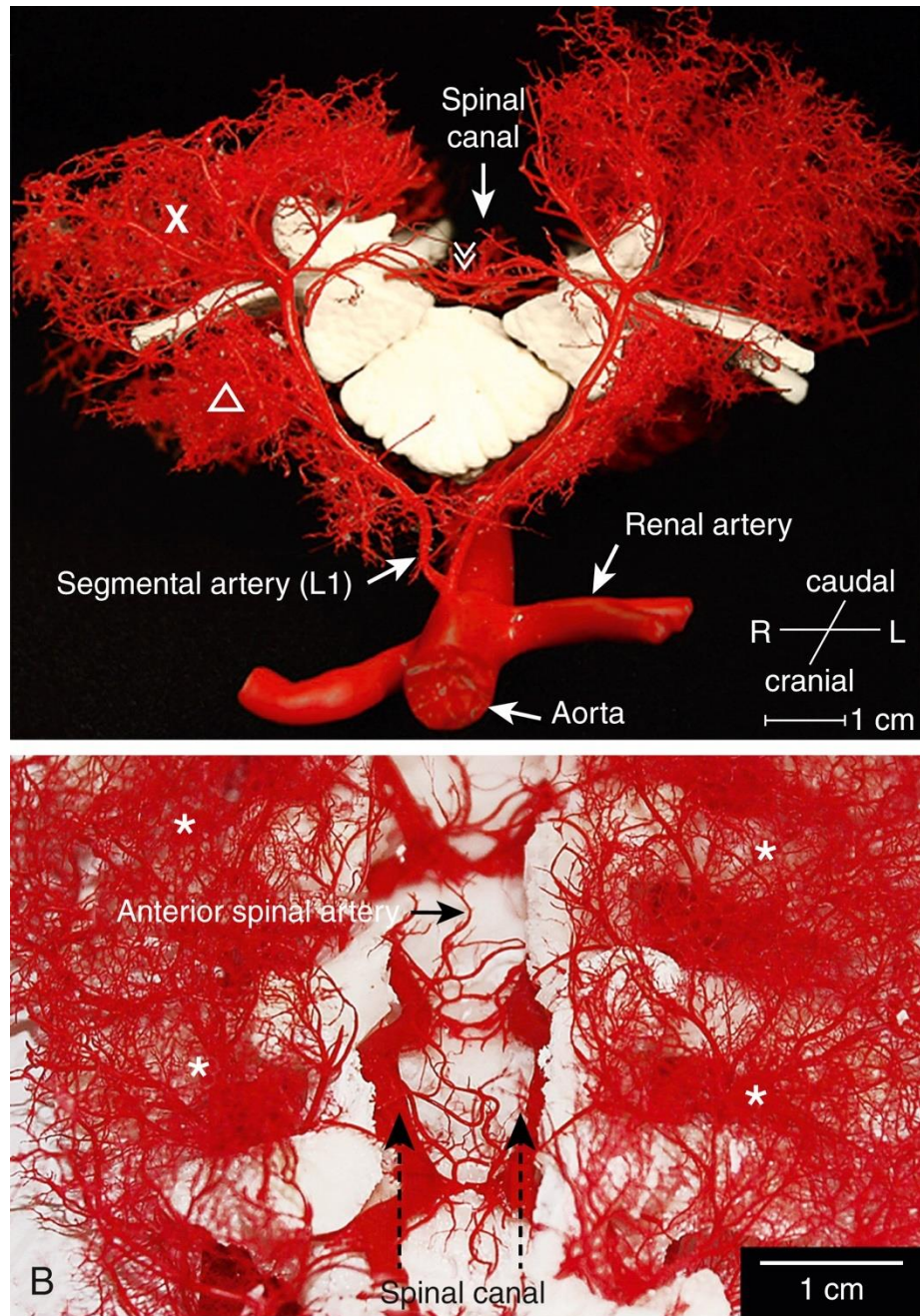
Nota. Tomado de Mtui (2021).

Figura 3
Anatomía transversal de la sustancia gris de la médula espinal



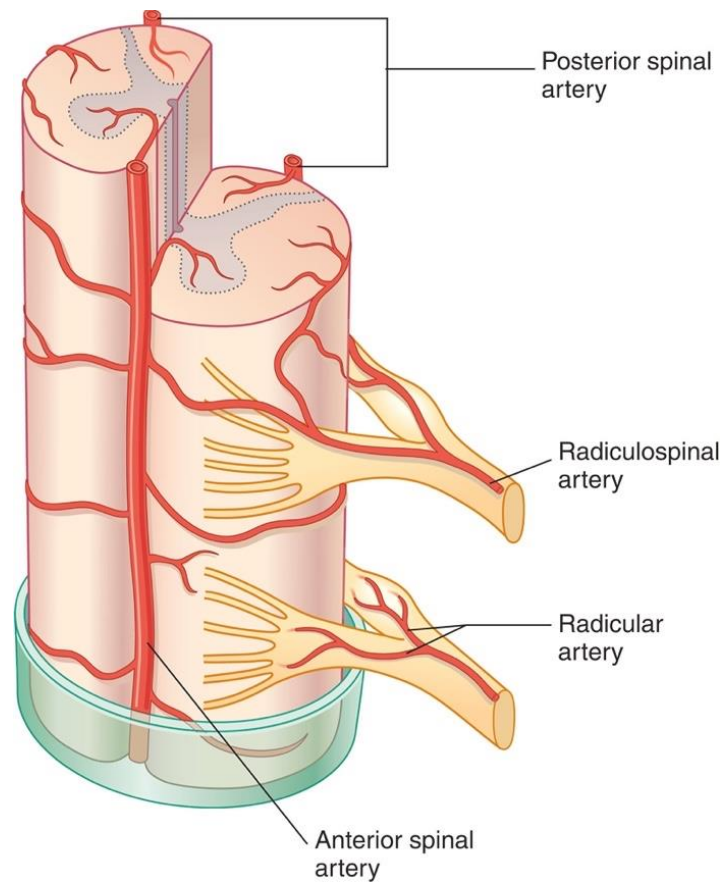
Nota. Tomado de Mtui (2021).

Figura 4
Anatomía de la red colateral: vista sagital (B1) y dorsal (B2)



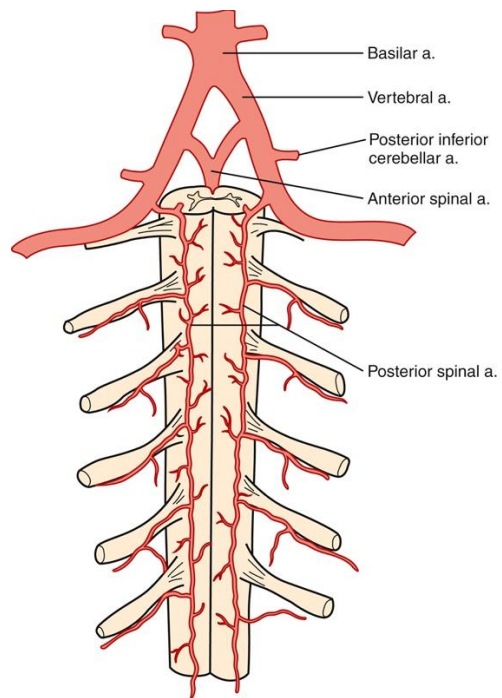
Nota. Tomado de Grotta *et al.* (2021).

Figura 5
Arterias de la médula y las raíces nerviosas



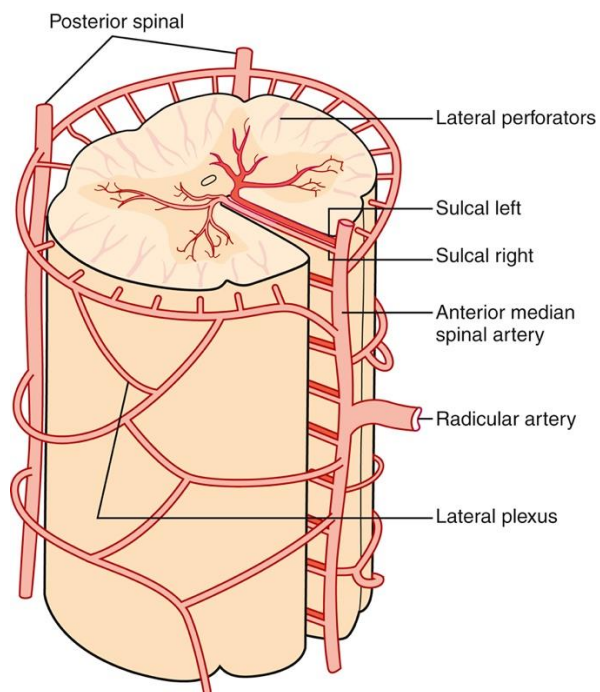
Nota. Tomado de Mtui (2021).

Figura 6
Arterias longitudinales de la médula espinal



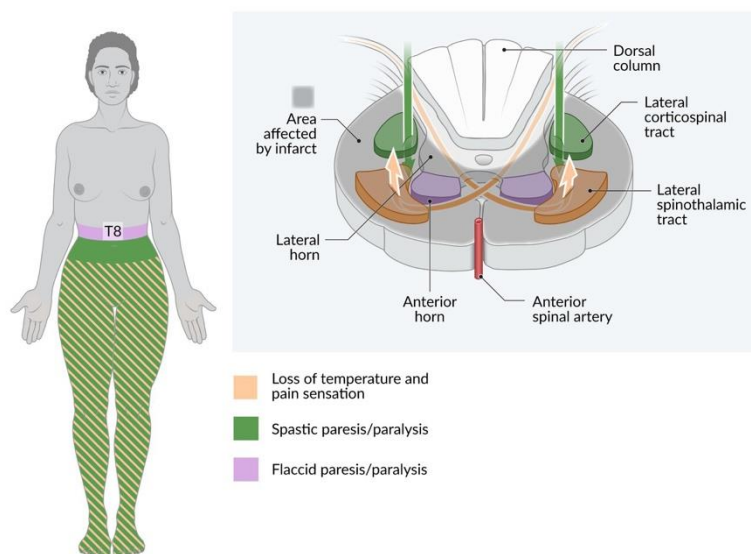
Nota. Tomado de Grotta *et al.* (2021).

Figura 7
Arterias intrínsecas de la médula espinal



Nota. Tomado de Grotta *et al.* (2021).

Figura 8
Caracterización del síndrome del cordón anterior



Nota. Tomado de Incomplete spinal cord syndromes (s. f.).