

OPEN

Recibido: 15 mayo, 2024 • Aceptado: 18 junio, 2024 • Online first: 4 julio, 2024

DOI: <https://doi.org/10.5554/22562087.e1118>

# Anestesia raquídea en niños: una revisión educativa

## *Spinal anesthesia in children: an educational review*

Maksym Khrapak<sup>a</sup> , Tobias Everett<sup>a,b</sup> , Farrukh Munshey<sup>a,b</sup> <sup>a</sup> Departamento de Anestesia y Medicina del Dolor, The Hospital for Sick Children. Toronto, Canadá.<sup>b</sup> Departamento de Anestesiología y Medicina del Dolor, University of Toronto. Toronto, Canadá.**Correspondencia:** Department of Anesthesia and Pain Medicine, The Hospital for Sick Children. 555 University Avenue. Toronto, Canadá.**Email:** maksym.khrapak@sickkids.ca**Cómo citar este artículo:** Khrapak M, Everett T, Munshey F. Spinal anesthesia in children: an educational review. Colombian Journal of Anesthesiology. 2024;52:e1118.

### Resumen

A pesar de los beneficios bien conocidos de la anestesia raquídea (AR), esta técnica sigue siendo subutilizada entre los anestesiólogos pediátricos. De acuerdo con los datos de la Red Regional de Anestesia Pediátrica, la AR representó menos del 5% de todas las técnicas neuroaxiales. Algunos de los factores a los que se atribuye dicha subutilización son: su duración limitada, la falta de familiaridad con la técnica en niños de menor edad, y la preferencia del anestesiólogo por la anestesia general. El uso seguro y exitoso de la AR en niños implica el claro conocimiento de las diferencias anatómicas y fisiológicas entre adultos y niños, en virtud de las diferencias en las estructuras óseas, el crecimiento de la médula espinal y la fisiología del líquido cefalorraquídeo. Los reportes sobre el uso exitoso de la AR en niños para diferentes cirugías ha aumentado. La presente revisión educativa resume la información conocida sobre AR en niños, revisiones de la literatura de la última década y ofrece sugerencias para el desarrollo de la AR en población pediátrica. Se discuten consideraciones técnicas, el papel de la ecografía, orientación sobre la dosificación, los efectos fisiológicos, aspectos no explicados del mecanismo de acción y la combinación de anestesia raquídea/caudal.

### Palabras clave

Anestesia pediátrica; Anestesia raquídea; Neonatos; Lactantes; Niños; Cirugía; Anestesia; Anestesiología.

### Abstract

Despite the well-known benefits of spinal anesthesia (SA), this technique remains underutilized among pediatric anesthesiologists. According to the data from the Pediatric Regional Anesthesia Network, SA accounted for less than 5% of all neuraxial techniques. Some of the factors for underutilization of SA include: Limited duration, unfamiliarity with the technique in younger children, and surgeon preference for general anesthesia. The safe and successful use of SA in children involves recognition of anatomical and physiological differences between adults and children owing to differences in bony structures, spinal cord growth and cerebrospinal fluid physiology. Reports on successful use of SA in children for various surgeries have increased. This educational review summarizes what is known about SA in children, reviews the literature from the last decade and provides suggestions for development of SA in children. Technical considerations, role of ultrasound, guidance on dosing, physiological effects, unexplained aspects of the mechanism of action and combined caudal/SA are discussed.

### Key words

Pediatric anesthesia; Spinal anesthesia; Newborns; Infants; Children; Surgery; Anesthesia; Anesthesiology.

## INTRODUCCIÓN

La anestesia raquídea (AR) en niños está establecida desde hace mucho tiempo. Al igual que con muchas innovaciones, la popularidad de la AR ha sido variable. Para mediados del siglo XX, había disminuido el uso de la AR, principalmente debido a la mejor seguridad de la anestesia general (AG), a la introducción de nuevos agentes de inducción, y al aumento en el número de anestesiólogos profesionales. A finales de la década de los 70 y principios de los 80, surgió un interés renovado en la AR para cirugía pediátrica, debido a las mejores tasas de supervivencia de los lactantes extremadamente prematuros. Dada la mayor incidencia de apnea postoperatoria luego de AG en esta población de alto riesgo, se demostró que la AR con el paciente despierto era una alternativa más segura (1). Nuestra revisión se concentrará en la AR para neonatos, lactantes y niños. El término niños hace referencia a pacientes (varones y hembras) de 2 años de edad y mayores.

## ANATOMÍA

Entender los cambios específicos para la edad de las estructuras anatómicas críticas es vital, antes de empezar a administrar la AR. El cono medular (CM) fetal asciende a medida que avanza la gestación. Sin embargo, aún se discute en qué momento el CM en lactantes llega al nivel del adulto L1 (2). Durante la última década, dos grupos de investigación han reportado niveles ligeramente distintos de terminación del CM en lactantes que nacieron a término, dependiendo de la tecnología utilizada. Los estudios de imágenes de resonancia magnética reportan el nivel más bajo en el borde inferior de la vértebra L2 (3). Sin embargo, si se usa ultrasonido (US), el nivel más bajo normal reportado es L3 (2).

La línea de Tuffier sigue siendo un reparo útil dado que pasa el nivel entre el espacio de L4-5 en neonatos o está desplazada hacia arriba a la tercera o quinta vértebra lumbar en posición de flexión (4, 5). El saco dural en neonatos y lactantes también termina más caudalmente que en adultos, a nivel aproximado de S4 al nacer y llega a S2

al finalizar el primer año; esto contrasta con el nivel S1 en el adulto (1).

Históricamente se aceptaba de manera general que los neonatos presentan un volumen significativamente mayor de LCR. Durante la última década, las técnicas de imágenes de RM in vivo encontraron que el volumen de LCR en neonatos y lactantes era muy inferior, de aproximadamente 2 ml/kg sin reducciones drásticas a medida que avanza la edad (6, 7). La implicación clínica de este hallazgo es la necesidad de reforzar la dosificación de los anestésicos locales (AL) según el peso ya que el volumen en el cual se van a diluir depende directamente del peso (6). Los hallazgos generan dudas acerca de la teoría de que un mayor volumen de LCR en neonatos y lactantes, pudiera ser un factor en la menor duración de la AR (6, 7). Otros mecanismos tales como un mayor recambio de LCR, mielinización retardada y diferencias farmacológicas pudieran estar en juego (6).

## ANESTESIA RAQUÍDEA GUIADA POR ECOGRAFÍA

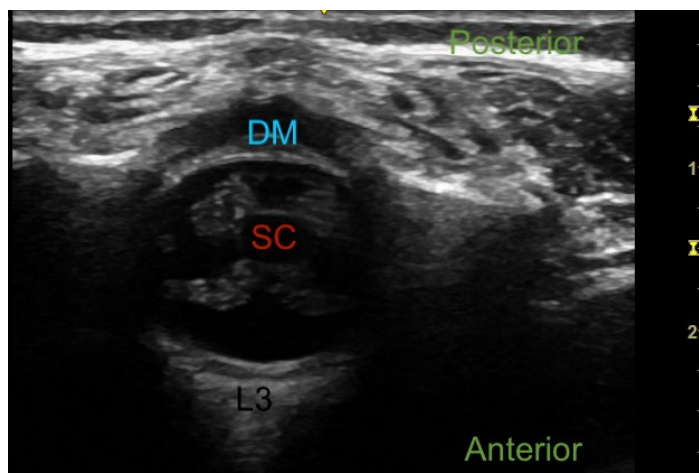
El uso del US para ayudar en la administración de AR pediátrica se ha reportado desde inicios de la década del 2000 (8, 9). Los informes iniciales se concentraron en el uso del ultrasonido para calcular la distancia entre la piel y el espacio subaracnoideo

y evaluar la factibilidad de identificar estructuras neuroaxiales críticas tales como la apófisis espinosa, la dura y el CM. En la última década, el punto focal ha sido el uso de la tomografía durante el procedimiento para confirmar objetivamente el nivel de terminación del CM e identificar los niveles correspondientes del espacio interespinoso (EIE) o una tomografía continua en tiempo real para administrar la AR en la que solía ser una punción lumbar (PL) difícil. La reciente revisión de AR guiada por ecografía en lactantes, concluyó que no existe evidencia de calidad para sugerir que el uso de ultrasonido para AR es superior al abordaje estándar en la población pediátrica (10).

La ventaja de utilizar ecografía para bloqueos neuroaxiales en neonatos y lactantes es la facilidad con la cual se puede identificar una buena ventana ósea, dada su localización superficial (10). Esto permite apreciar de manera consistente el espacio interespinoso - EIE y las meninges de la médula espinal. En 2023 Du y Col. encontraron que los reparos anatómicos identificados para los niveles del EIE estaban marcados erróneamente en el 32% de los lactantes programados para AR. En un paciente, el EIE objetivo se superponía al CM, a riesgo de sufrir trauma de la médula espinal (11).

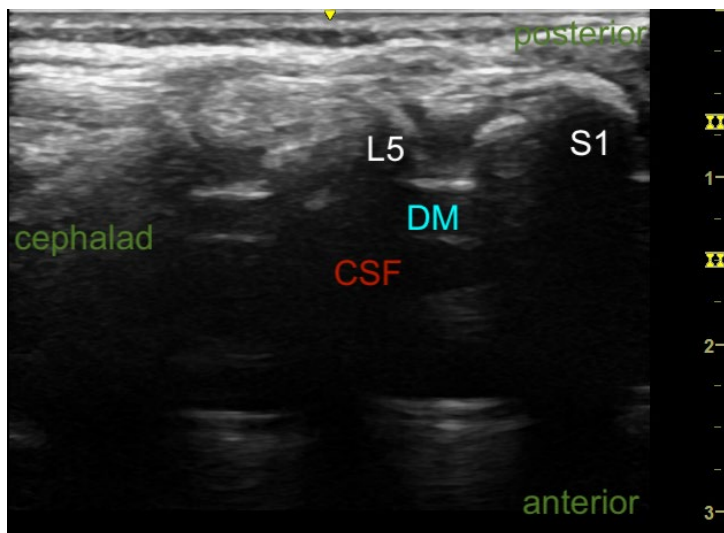
Se pueden utilizar dos orientaciones de la sonda para visualizar la dura madre: longitudinal (a lo largo de la columna) o transversa (a través de la columna) (Figuras 1 y 2). El abordaje longitudinal ayuda a encontrar

Figura 1. Imagen ecográfica del canal vertebral. Eje transverso a nivel de L3.



DM: dura madre; SC: médula espinal. Fuente: Autores.

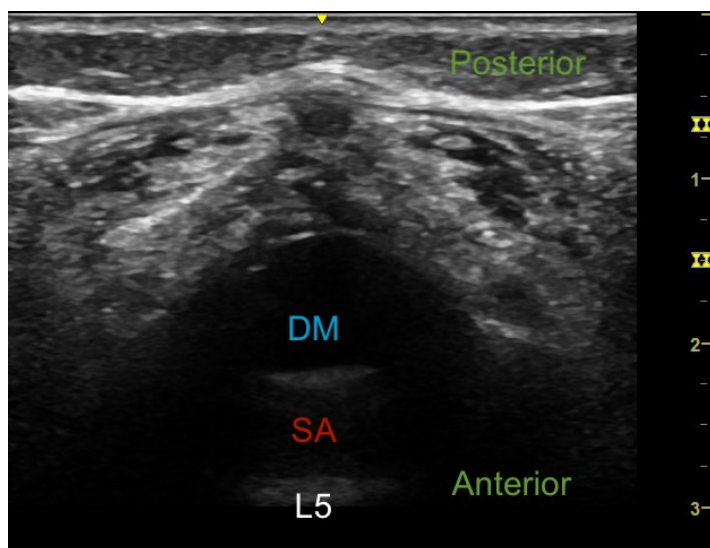
**Fig. 2** Imagen ecográfica del canal vertebral. Eje transverso a nivel de L5.



CSF: líquido; cefalorraquídeo; DM: dura madre; SA: Espacio subaracnoideo.

**Fuente:** Autores.

**Fig. 3** Imagen ecográfica del canal vertebral. Eje longitudinal.



DM: dura madre; CSF: líquido cefalorraquídeo.

**Fuente:** Autores.

el EIE más ancho y el nivel en donde termina el CM, contando desde la última costilla hacia abajo y desde la unión lumbosacra hacia arriba (Figura.3).

Una barrera para la implementación de la ecografía en AR pediátrica es el desafío de escanear y hacer seguimiento a la aguja simultáneamente en neonatos y lactantes despiertos y moviéndose. La preocupación es que el proceso pudiera tomar mucho

más tiempo que la AR utilizando reparos anatómicos. El nivel de pericia del profesional es un factor importante para el éxito de una AR guiada por ecografía. Un informe retrospectivo en 2019 de 14 lactantes prematuros extremos que se sometieron a AR guiada por ecografía continua para reparación de hernia inguinal tuvieron una tasa de éxito de primera pasada de 64% y una tasa

de éxito a los 3 intentos de 86% (12). Las tasas de éxito globales son menores que las reportadas para abordajes basados en reparos anatómicos de 98.9% (12).

## POSICIONAMIENTO

Un correcto posicionamiento es crucial para el éxito de la PL. Puesto que la AR se realiza a través de una PL, agregamos a nuestro análisis publicaciones basadas en PL para obtener datos más confiables. Tradicionalmente, en neonatos y lactantes, se utiliza o bien la posición en decúbito lateral o la posición sedente. Una reciente revisión Cochrane de 2023 sugiere que hay poca o ninguna diferencia en la tasa de éxito de primer intento o en el tiempo cuando se realiza la PL en cualquiera de las dos posiciones (13). La incidencia de bradicardia y desaturación de oxígeno posiblemente sea mayor en la posición en decúbito lateral. Hubo poca o ninguna diferencia en el número e episodios de apnea en cualquiera de las dos posiciones (13). La incidencia de bradicardia y desaturación de oxígeno pudiera atribuirse a la notoria flexión cervical que aumenta el riesgo de obstrucción de la vía aérea. Se recomienda optimizar el posicionamiento, a la vez que se limita la flexión cervical para evitar una obstrucción significativa de la vía aérea.

Muchos adolescentes y jóvenes requieren sedación para la PL, lo cual hace difícil el abordaje en posición sedente. En tales casos, pudiera ser preferible la posición decúbito lateral. La incapacidad para mantener una posición óptima y seguir instrucciones con sedación, pudiera dificultar la culminación exitosa del procedimiento.

## TÉCNICA

En neonatos deberá identificarse el espacio entre L4-5 o L5-S1 y se recomienda un abordaje medial, avanzando la aguja para palpar el espacio interespinal ajustado, el espacio subaracnoideo estrecho, la baja presión del LCF, y laminas pobremente calcificadas (5,11). En lactantes puede usarse el espacio intervertebral L3-4. Con frecuencia se usa una aguja calibre 25 mm con estilote.

El nivel del bloqueo en lactantes se puede evaluar por observación de debilidad motora profunda en las piernas y la falta de respuesta al pinzamiento de la piel al nivel apropiado para la cirugía (14). Para pacientes de más edad se utiliza comúnmente una aguja Whitecare calibre 25 con un inductor de aguja calibre 20.

Cuando se realiza una AR en lactantes despiertos, existen otras estrategias para optimizar las condiciones. Entre ellas está la aplicación de un AL tópico sobre el sitio de la inyección, administrar una pequeña dosis de dexmedetomidina o fentanilo intranasal (IN) (15), y brindar una sala de cirugía cálida y silenciosa. El cirujano a cargo debe estar presente en la sala de cirugía, listo para la preparación quirúrgica y la duración de la AR deberá controlarse con un cronómetro, informando al cirujano a los 30, 45 y 60 minutos. Puede usarse un chupón impregnado en sacarosa. Idealmente deberá colocarse un catéter endovenoso periférico en la extremidad inferior, luego de la administración de la AR (16). Deberá mantenerse el control de temperatura durante todas las etapas del procedimiento, calentando la sala y utilizando mantas transparentes mientras se administra la inyección raquídea. Resulta interesante que hay reportes que sugieren que el uso un dispositivo de calefacción activo puede molestar a los neonatos y lactantes despiertos, debido al ruido y a la irritación del tronco superior del cuerpo (15).

## FARMACOCINÉTICA DEL ANESTÉSICO LOCAL

La farmacocinética de los AL es diferente según el grupo etario y depende de la dosis, la duración de la acción y de la toxicidad.

### Fijación

Hay diferencias importantes dependientes de la edad que afectan la fijación del AL en plasma hasta el primer año de vida (17, 18). Los anestésicos locales tipo amida se fijan principalmente a la Alfa-1 glicoproteína ácida (AGP). La concentración sérica de la AGP es varias veces menor al nacer, aumentando progresivamente durante los primeros 6-9

meses de vida, para alcanzar los niveles del adulto al finalizar el primer año (19). Esto reviste importancia puesto que la toxicidad de los agentes AL está relacionada con la concentración plasmática no fijada, más que con la concentración plasmática total (17). La tetracaína se fija principalmente a la albúmina; sin embargo, se metaboliza rápidamente y la fijación a la proteína no es clínicamente significativa (19).

### Absorción

En la última década Frawley y Col. reportaron estudios farmacocinéticos del uso de AR con levobupivacaína en lactantes (17, 20, 21). A partir de su análisis, los valores reportados de Cmax correspondientes a la concentración plasmática venosa media total y las concentraciones en plasma venoso no fijadas, estuvieron muy por debajo de los niveles tolerados en adultos (17). En 4 de los pacientes, se requirió repetir la dosis de 1 mg/kg debido a falla inicial del bloqueo. Los niveles de Cmax en estos pacientes, a pesar de que prácticamente se duplicaron, siguieron estando muy por debajo de los niveles tóxicos. La media de Tmax fue de 30 minutos para una sola dosis (17). En los cuatro pacientes que recibieron una segunda dosis de 1 mg/kg, la media de Tmax fue de 45 minutos (17).

### Distribución

El conocimiento sobre el volumen de distribución (Vd) del anestésico local tipo amida

se deriva de estudios farmacocinéticos con anestesia caudal. Se considera que la bupivacaína tiene el Vd más alto en neonatos, seguido de lactantes, niños y adultos: sin embargo, no existen datos comparativos luego de la administración endovenosa (19). La ropivacaína tiene un Vd menor que la bupivacaína y se considera que tiene el Vd más pequeño en neonatos, lactantes, seguido de niños. Se aproxima a los niveles de adultos a los 4 años de edad (19).

### Metabolismo y depuración

Los citocromos inmaduros y los mecanismos de conjugación producen un metabolismo prolongado y eliminación de los anestésicos locales tipo amida (19). La tasa de depuración para bupivacaína y ropivacaína es baja al nacer, pero aumenta durante el primer año de vida. La menor depuración intrínseca, junto con una disminución de la fijación de la proteína sérica, son dos factores que pudieran aumentar el riesgo de reacciones tóxicas en lactantes (19).

### Implicaciones clínicas

Las guías de las Sociedades Americana y Europea de Anestesia Regional para la dosificación de AL de uso común en anestesia regional pediátrica sugieren levobupivacaína, ropivacaína, bupivacaína y tetracaína para inyección IT (Tabla 1) (18). En 2017,

**Tabla 1.** Dosificación del medicamento para anestesia raquídea pediátrica.

Medicamento	Dosis (mg/kg)	Peso (kg)	Referencias
Bupivacaína	1	<5	(18, 22)
	0,4	5-15	(18)
	0,3	>15	(18)
Tetracaína	1	<4	(18)
	0,5	>4	(14, 18)
Ropivacaína	0,5-1	<5	(22, 25)
	0,5	>5	(25)
Levobupivacaína	1	<5	(17)
	0,4	<10	(26)
	0,3	16-40	(26)
	0,25	>40	(26)

Fuente: Autores.



Frawley y Col., reportaron la ausencia de diferencias relacionadas al género en la dosificación ED<sub>50</sub> y ED<sub>95</sub> de levobupivacaína y ropivacaína AR (21). Como tal, no se recomendó modificar la dosis para raquídeas en lactantes, a diferencia de los adultos en donde se observaron diferencias de dosis relacionadas con el género. A pesar de que en muchos países la bupivacaína sigue siendo el AL más popular para la AR, el perfil farmacocinético de levobupivacaína muestra un mejor margen de seguridad que la bupivacaína en lactantes. Incluso después de administrar una dosis raquídea repetida (2 mg/kg), no se produjeron concentraciones asociadas un mayor riesgo de toxicidad (17, 21). Una dosis equivalente de bupivacaína es más potente que levobupivacaína y ropivacaína. La levobupivacaína y la ropivacaína tienen índices de potencia similares (22). La mayor solubilidad en lípidos de la bupivacaína permite una mayor división en la médula espinal, produciendo un mayor bloqueo motor que se intensifica al reducir las dosis (22). Kokki y Hendolin reportaron que hubo diferencias entre las soluciones de bupivacaína isobárica o hiperbárica en AR en niños de 1-7 años, en términos de las tasas de éxito, propagación y duración del bloqueo sensorial y motor (23). Sin embargo, el estudio de Anestesia General vs Raquídea (GAS, por sus siglas en inglés) estimó menores tasas de fracaso de la AR con bupivacaína isobárica 0,5% (6,2%) que con bupivacaína hiperbárica 0,75% (28,6%) o levobupivacaína 0,5% (20%) (24). Se debe destacar que las fallas descritas pudieran deberse al uso de un menor volumen de AL para lograr la dosis prevista (24).

## FARMACODINAMIA DE LOS ANESTÉSICOS LOCALES

### Anestesia raquídea y función de sistema nervioso central

El mecanismo de acción de la AR es la inyección del AL en el espacio IT que produce un bloqueo somático y autonómico de las raíces del nervio raquídeo (27). La AR no

debe impactar el nivel de conciencia ni las funciones del tallo cerebral, a diferencia de la AG. Esto no siempre es consistente con los hallazgos clínicos de la AR pediátrica, dado que algunos se quedan dormidos poco tiempo después del procedimiento (28). Uno de los indicadores bien conocidos de la profundidad de la AG es la ausencia del reflejo corneal. En contraste con el mecanismo de acción de la AR en las raíces raquídeas, una serie de la década pasada mostró una pérdida de los reflejos corneales y de las pestañas después de la anestesia raquídea, en pacientes entre 2 y 13 meses de edad. (29). Luego de la inyección intratecal, todos los pacientes se quedaron dormidos y su estado cardiorrespiratorio se mostró sin novedad (29). En 2021, Whitaker y Col., reportaron un estudio prospectivo piloto en el cual se registraron electroencefalogramas (EEG) en 12 lactantes sometidos a AR despiertos (28). El EEG mostró una mayor actividad de la onda lenta y menor actividad beta en comparación con el estado despierto, donde los husos del sueño sugerían un sueño normal (28). De acuerdo con un estudio de 2023, los patrones electroencefalográficos observados durante el sueño fisiológico en el lactante, respaldan los mecanismos de sedación relacionados con el sueño durante la AR con el paciente despierto (30). El mecanismo de este fenómeno aún se desconoce, a pesar de que se ha sugerido que se debe a un efecto de desaferentación y no a un efecto directo sobre el cerebro. Clínicamente, esto pudiera explicar la menor necesidad de suplementación de anestésico endovenoso para la sedación después de la AR pediátrica.

### Anestesia raquídea y hemodinamia

Los cambios en la presión arterial debidos a la AR son más frecuentes en adultos que en niños. Las razones de la tolerancia hemodinámica de la AR en lactantes no se conocen a cabalidad, pero se sugieren como factores que contribuyen la inmadurez del tono simpático y la menor capacidad sanguínea de las extremidades inferiores (31-33).

El estudio GAS demostró que los pacientes que recibían AR presentaban una menor incidencia de hipotensión (presión arterial media, PAM < 45 mmHg), menor duración de la hipotensión, incluyendo hipotensión prolongada (PAM < 35 mmHg durante tres intervalos consecutivos de 5 minutos entre mediciones) y menor número de intervenciones para el tratamiento de la hipotensión (34). El peso al momento de la cirugía y la baja temperatura intraoperatoria fueron factores de riesgo de hipotensión (34). La incidencia de bradicardia bajo AR según el Vermont Infant Spinal Registry (VISR) fue de 1,6% (26 pacientes) (14). Tres pacientes desarrollaron bradicardia asociada al inicio de un bloqueo raquídeo alto (14).

El monitoreo con espectroscopía cercana al infrarrojo muestra un efecto de la AR sobre el flujo sanguíneo cerebral (FSC), especialmente sobre la saturación regional cerebral de oxígeno (rSO<sub>2</sub>). Los investigadores no encontraron un cambio clínicamente significativo de la rSO<sub>2</sub> a pesar de la caída de la PAM y de la frecuencia cardíaca (FC) (35, 36). En este estudio los pacientes no recibieron premedicación ni sedación. Debe tenerse cuidado cuando se use premedicación y/o sedación como parte de la técnica de la AR, ya que pudiera afectar más la rSO<sub>2</sub>. La mayoría de los agentes anestésicos disminuyen tanto el flujo sanguíneo cerebral (FSC) como la tasa metabólica cerebral (TMC); Sin embargo, con AR concomitante, la disminución de la PAM y de la FC pudieran llevar a una caída adicional del FSC que comprometa la rSO<sub>2</sub> (37).

La AR pediátrica mitiga efectivamente la respuesta al estrés cuando el paciente se somete a cirugía cardíaca con bypass cardiopulmonar (38). En un estudio controlado, aleatorizado prospectivo, Humphreys y Col., midieron las concentraciones plasmáticas de catecolaminas y lactado y mostraron que la AR continua con catéter permanente reducía sus niveles más efectivamente que las altas dosis de opioides endovenosos solamente (38). El perfil hemodinámico en el grupo de AR no mostró diferencia con el grupo

control, con anestesia con altas dosis de opioides endovenosos.

### Anestesia raquídea y función respiratoria en recién nacidos y lactantes

Los neonatos prematuros y los lactantes menores de 60 semanas presentan una mayor incidencia de apnea postoperatoria asociada a la AG (39). La AR se ha usado como alternativa para obviar por completo la AG y la instrumentación de la vía aérea. La reducción de complicaciones respiratorias perioperatorias como resultado del uso de la AR ha mostrado resultados promisorios (24, 39, 40). En el estudio GAS, se redujo significativamente la incidencia de apneas postoperatorias tempranas y, más importante aún, hubo una incidencia significativamente menor de intervenciones por apnea, más allá de la simple estimulación, en lactantes que recibieron AR despiertos (39). Por el contrario, la AG aumentó significativamente la incidencia de episodios apneicos y de intervenciones para su tratamiento. La mayor incidencia de apnea en el brazo de AG se observó en lactantes pretérmino, con un 6,1% (39). Más aún, todos los eventos de RCP, reintubación o ventilación mecánica de presión positiva durante la noche para resolver apnea postoperatoria temprana se presentaron en el grupo de AG (39). La premadurez extrema fue el principal factor de riesgo de apnea. La apnea temprana también fue un fuerte predictor de apnea tardía (39). Los lactantes sometidos a cirugía con AR, rara vez requirieron suplementación de oxígeno y presentaron menor probabilidad de desarrollar desaturación de oxígeno postoperatoria (1 vs. 4%) (39). Dohms y Col., en su meta-análisis demostraron que la AR era significativamente mejor que la AG con relación a cualquier episodio. La incidencia de eventos apneicos en lactantes en el grupo de AR fue de 9%, en comparación con 20% en el grupo de AG (40). El número de pacientes que requirió ventilación mecánica postoperatoria también se multiplicó notoriamente en el gru-

po de AG (13% vs. 1,9%) (40). Los resultados del registro VISR favorecen a la AR sobre la AG, presentándose desaturación solamente en 0,6% de los casos con AR (14). Publicaciones recientes sobre el uso de la AR para piloromiotomía no mostraron episodios de apnea en el grupo de AR, en contraste con un 25% en el grupo de AG (41).

Los neonatos y los lactantes rara vez desarrollan signos de compromiso respiratorio con bloqueo raquídeo alto. En el estudio GAS solamente un lactante requirió ventilación con máscara (39). Los lactantes que recibieron AR no mostraron ningún signo de deterioro mecánico de la respiración con el bloqueo raquídeo hasta el nivel de T4 (33). La incidencia de bloqueo raquídeo a un nivel superior al necesario en el registro VISR fue de 3,8% (10 pacientes) (14). Cinco pacientes requirieron posteriormente intubación endotraqueal (14).

### ADYUVANTES PARA ANESTESIA RAQUÍDEA

La duración del bloqueo de menos de 90 minutos es una limitación de la AR y puede llegar a ser de hasta 60 minutos en neonatos (42, 43). No han surgido nuevos agentes AL en la última década para permitir una mayor duración de la AR pediátrica y se ha reportado el uso de adyuvantes para prolongar la duración del bloqueo; sin embargo, la evidencia es limitada (44). Algunas otras interrogantes respecto a la neurotoxicidad de la administración de medicamentos por vía raquídea aún no se han resuelto (45). Todos los fármacos IT deben ser libres de preservantes.

#### Clonidina y dexmedetomidina

Usualmente, los neonatos y lactantes toleran la administración IT de clonidina mejor que los adultos debido a la inmadurez del sistema nervioso simpático y al menor volumen de sangre periférica (44). Cuando se agrega por vía IT en neonatos (1-2 mcg/kg), la clonidina prolonga la analgesia (46). Sin em-

bargo, la clonidina IT también se asocia a una mayor incidencia de apneas postoperatorias y bradicardia transitoria en la población neonatal (45, 46). La seguridad de la dexmedetomidina pediátrica IT no está clara. En 2020, un reporte de Fares y Col., sugirió menores puntajes postoperatorios en la escala FLACC luego de la administración IT de 0,2 mcg/kg en niños de 3-12 años (47). Se ha reportado hipotermia profunda en lactantes cuando se combina la sedación endovenosa con dexmedetomidina posterior a la AR con bupivacaina y clonidina IT (48).

#### Opioides

La morfina IT a bajas dosis (2-5 mcg/kg, hasta 300 mcg) en adolescentes y jóvenes se utiliza principalmente dentro del contexto de cirugía para escoliosis con importantes ventajas en el postoperatorio (49). También se usa el fentanilo IT, pero datos limitados sugieren que mejora el dolor postoperatorio después del uso de fentanilo IT en adolescentes (47).

#### Benzodiazepinas

La seguridad de las benzodiazepinas como adyuvante en la AR no se ha establecido claramente. Se han planteado dudas importantes respecto a la posible neurotoxicidad en la práctica pediátrica (45). La evidencia en términos de beneficios y seguridad del midazolam IT se limita a pequeños estudios en niños de más edad (50).

### INDICACIONES PARA LA ANESTESIA RAQUÍDEA

Típicamente, los procedimientos realizados bajo AR son de menor duración y en la región infraumbilical. Algunos ejemplos comunes son la reparación abierta de hernia inguinal/umbilical, orquidopexia y otros procedimientos penoescrotales. El registro VISR publicó en 2006 un informe sobre 1.554 pacientes sometidos a AR por diversos

procedimientos (14). A la luz de su significativa experiencia con AR, reportaron una lista ampliada de indicaciones, incluyendo urgencias neonatales congénitas tales como piloromiotomía, onfalocele, mielomeningocele y reparación de gastroquisis (14). Durante la última década han aparecido reportes sobre el uso de la AR en cirugía ortopédica en lactantes, incluyendo cirugía del tendón de Aquiles y polidactilia (42, 51).

A medida que las instituciones se familiarizan más con la técnica, siguen ampliándose las indicaciones para la AR pediátrica. En el estudio de 2022, las nuevas indicaciones incluían la reparación de la hernia umbilical, biopsia del músculo del muslo, y hernia inguinal laparoscópica (42). La AR resultó efectiva para la reparación de la hernia inguinal laparoscópica con insuflación abdominal a través del área inguinal hasta 10 mmHg (52). Los reportes indican que la insuflación fue bien tolerada y que el neumoperitoneo no afectó la ventilación (52). Cabe destacar que los lactantes no desarrollaron hipotensión, que es una respuesta común a la insuflación dentro de este grupo etario (52). Los factores que llevan a un uso exitoso de la AR en cirugía laparoscópica fueron una presión del neumoperitoneo < 8 mmHg, tiempo quirúrgico < 60 minutos, y un nivel sensorial superior a T10 (42, 53). Una serie de casos de 2019 reportó la realización de piloromiotomía laparoscópica bajo AR (54).

La mayoría de los reportes sobre AR pediátrica abordan al grupo de menor edad de neonatos y lactantes. El uso de la AR en niños > 3 años es limitada, principalmente debido a factores psico-conductuales tales como el miedo a la aguja, dolor y dificultad para mantenerse quieto durante el procedimiento. Sin embargo, algunos centros pediátricos realizan la AR en niños de mayor edad cuando se considera que la AG es de alto riesgo (42). La sedación administrada durante el preoperatorio y/o el intraoperatorio puede ser beneficiosa.

Reportes de la última década muestran que los protocolos institucionales pueden ayudar a optimizar la AR pediátrica (15).

Luego de la implementación de un protocolo estandarizado para la AR en lactantes sometidos a herniorrafia inguinal, Chen y col., mostraron que el tiempo postoperatorio desde el momento de la colocación del apósito en la herida quirúrgica hasta la salida de la sala de cirugía en AR era más eficiente en comparación con el grupo de AG (16). Whitaker y Col., reportaron un tiempo promedio de la administración de AR en lactantes de  $3,8 \pm 2,7$  minutos en su institución (55). En el estudio GAS, el tiempo de la anestesia en el grupo de AR también fue más corto (51 vs. 66 minutos) (39). Islam y Col., mostraron que en 12 pacientes sometidos a piloromiotomía laparoscópica, el tiempo hasta la recuperación fue significativamente más corto después de la AR (5 vs. 26,5 min en el grupo de AG), el tiempo en quirófano fue menor, además ahorros significativos en costos (54).

Otra ventaja de la AR es la reducción del tiempo de hospitalización de lactantes sanos sometidos a cirugía ambulatoria - de un día (15). Algunos hospitales reportan una estancia hospitalaria significativamente más corta de lactantes que recibieron AR para procedimientos penoescrotales, en comparación con la AG (5,3 horas versus 17,1 horas) (15). Kokki y Col., reportaron una media de tiempo hasta el alta después de AR para herniotomía en pacientes ASA I-II de 6 meses a 10 años de edad, de 230 minutos, a pesar de que el 85% de los niños recibieron analgésicos en casa durante 2-3 días (56). Los lactantes de mayor riesgo no son candidatos para ser dados de alta el mismo día. Entre ellos encontramos a los lactantes prematuros extremos de menos de 60 semanas y lactantes con menor peso o una historia de apnea reciente, incluyendo la apnea postoperatoria temprana (56). Deberá considerarse el monitoreo cardiorrespiratorio postoperatorio extendido durante la noche, para lactantes con premadurez extrema de < 60 semanas de edad o los lactantes a término < 45 semanas si se utilizó sedación con la AR, dado que el riesgo de apnea postoperatoria se mantiene (56).

## ANESTESIA RAQUÍDEA/CAUDAL COMBINADA

La anestesia combinada raquídea/caudal (ACRC) es una opción para extender la duración del bloqueo para procedimientos quirúrgicos más largos y obviar la necesidad de intervenir la vía aérea, minimizar el uso de opioides y evitar riesgos potenciales asociados a la AG. Los grupos de mayor riesgo que pudieran beneficiarse de la ACRC son los pacientes con infección reciente de las vías respiratorias superiores, niños con anomalías congénitas de la vía aérea y lactantes prematuros extremos con historia de apnea o enfermedad del parénquima pulmonar (57). Los médicos deben estar conscientes de los riesgos de profundizar la sedación por un periodo prolongado y con una vía aérea desprotegida.

Jayanthi y Col., desarrollaron el protocolo raquídeo/caudal en lactantes sometidos a procedimientos urológicos prolongados con un tiempo quirúrgico promedio de 109 minutos (57). Luego de la inyección inicial IT con bupivacaína isobárica al 0,5% se colocó un catéter caudal. Una hora después de la inyección, se administró cloroprocaina al 3% a través del catéter caudal para prolongar la duración del bloqueo quirúrgico. Se administró sedación perioperatoria con midazolam por vía oral y dexmedetomidina endovenosa intraoperatoria.

Debido al mayor riesgo de toxicidad en lactantes, la administración de una nueva dosis del AL deberá hacerse cuidadosamente. A pesar de que un modelo farmacocinético desarrollado por Frawley y Col., para predecir la concentración de levobupivacaína en neonatos e infantes respalda el perfil de seguridad de una dosis raquídea repetida (levobupivacaína 1.0 mg/kg), el grupo recomienda cautela, dados los niveles impredecibles de alfa-1 glicoproteína ácida (AGA) en este grupo etario (20). En escenarios en los cuales la AR (levobupivacaína al 0,5%, 1 mg/kg) se aumenta mediante un bloqueo caudal inmediato, puede usarse una dosis de 1,5 mg/kg con seguridad. Si se aumenta la AR, puede usarse una dosis repetida de 2,5 mg/kg en el componente caudal (20).

## SEDACIÓN DURANTE ANESTESIA RAQUÍDEA

En la última década han surgido varios reportes sobre el uso de sedación para facilitar el desempeño y extender la duración de la AR pediátrica. La sedación con dexmedetomidina intranasal (IN) (4-5 mcg/kg) una hora antes del ingreso a la sala de cirugía y adicionalmente 1-2 mcg/kg de fentanilo inmediatamente antes del ingreso a quirófano en lactantes de > 4 meses, permitió una duración media de 95 minutos de cirugía urológica con un máximo de 183 minutos (58). La necesidad de sedación adicional endovenosa varió de 12% a 37% de los procedimientos (15, 58). In 2019, Chiao y Col., reportaron el uso de infusión endovenosa de dexmedetomidina (1-2 mcg/kg/h) con AR, sin manipulación de la vía aérea, para una reparación laparoscópica exitosa de hernia inguinal en una serie de 3 pacientes (52). En niños > 2 años, la AR combinada con infusión endovenosa de dexmedetomidina  $\pm$  bolos de ketamina se puede usar para cirugías de las extremidades inferiores en donde es probable que los pacientes presenten una intubación difícil (por ejemplo, artrogriposis, parálisis cerebral u osteogénesis imperfecta) (59, 60). La literatura emergente sugiere una mayor popularidad de los alfa-2 agonistas, a pesar de que el lector debe recordar los posibles efectos cardiovasculares significativos con la administración en bolo y esto se debe sopesar contra los beneficios de la sedación, especialmente en neonatos.

## BLOQUEO FALLIDO Y OTRAS COMPLICACIONES

La tasa de éxito de la AR, definida como el retorno de LCR a través de la aguja raquídea, fue de 86,9% en el estudio GAS (24). En el registro VISR, la AR fue exitosa en el 83% de los pacientes, cuando la realizaron residentes en capacitación, incluyendo a aque-

llos para los que era su primera experiencia de una punción lumbar en un lactante. En el mismo estudio, el éxito de la AR alcanzó el 98,9% cuando fue el anestesiólogo tratante quien realizó la PL (14). No existen factores de riesgo establecidos y consistentes para una AR fallida que estén respaldados por evidencia sólida. La incidencia de sangrado en la punción lumbar en el primer intento se considera un predictor de evidencia moderada (24). La administración de la AR por un anestesiólogo pediátrico en lugar de un anestesiólogo general mostró evidencia débil a favor del primero (24). Las tasas de éxito entre el personal que no son anestesiólogos (por ejemplo neonatólogos) pueden variar. No existe evidencia de que la baja edad gestacional o el peso pudieran tener un impacto sobre la falla del bloqueo (24).

Las complicaciones relacionadas con la AR pediátrica son infrecuentes (61, 62). La cefalea post-punción de la dura (CPPD) es una de las que se reportan con mayor frecuencia, con una incidencia reportada en niños de hasta 15% (63). Suele presentarse dentro de los 3 días siguientes a un procedimiento neuroaxial, pero podría retardarse hasta 2 semanas. La cefalea posicional que se resuelve con la supinación es el síntoma clásico. Se ha reportado CPPD en lactantes, pero su incidencia pudiera estar sub-reportada debido a la dificultad para la valoración clínica. En niños < 10 años, la menor incidencia de CPPD se explica por la presión relativamente baja del LCR y el aumento de la rigidez relativa del espacio epidural (64, 65). En el grupo en que se aplicó el criterio de presión de apertura documentada, los investigadores encontraron los siguientes factores predisponentes para CPPD: edad > 10 años, sexo femenino, menor índice de masa corporal, punción de la dura basada en reparos (en comparación con procedimiento guiado por fluoroscopia), uso de sedación, mayor presión de apertura y presencia de pseudotumor cerebral (65). Cabe mencionar que la CPPD pudiera no ser el único síntoma (63). Los niños pueden presentar náuseas, vómito y vértigo (63, 66). La pérdida de la audición transitoria o per-

manente después de la AR se ha descrito en adultos, mas no en niños (67).

Los tratamientos establecidos de reposo en cama, líquidos endovenosos, analgésicos orales o endovenosos con cafeína, se han adoptado a partir de estudios en adultos, pero no hay literatura pediátrica que respalde dichas medidas (68). El reposo en cama profiláctico adicional luego de la PL aparentemente no reduce la incidencia de CPPD. Si el tratamiento conservador no alivia la CPPD y el paciente continua presentando síntomas debilitantes, puede considerarse el uso de un parche hemático epidural (PHE) (69). En adultos, la inyección de sangre necesaria para el parche varía de 15-20 ml o hasta que se sienta la contrapresión. En 2002, Kokki y Col., reportaron que la eficacia del PHE no se correlacionaba con mayores volúmenes de sangre inyectados y que volúmenes de 0,2-0,3 ml/kg aliviaban exitosamente la CPPD en niños (69). Otro desafío en los pacientes pediátricos es la posible necesidad de AG para realizar el PHE. Esto elimina la retroalimentación del paciente como una medida cuando se realiza el PHE. Existen reportes anecdóticos de la necesidad del PHE luego de tratamiento sintomático con la inserción simultánea de un catéter peridural en caso de que se requiera un segundo PHE (64). El momento ideal para el PHE en niños no se ha determinado. Se recomienda retrasar el PHE, en virtud de los riesgos asociados al procedimiento, la necesidad de AG y la elevada probabilidad de una recuperación espontánea sin necesidad del PHE (69).

Durante la última década, una revisión Cochrane de 2017 en adultos mostró una calidad de evidencia moderada respecto a que las agujas atraumáticas reducen el riesgo de CPPD sin aumentar los eventos adversos tales como parestesia o dolor de espalda (70). Igualmente, en el caso de niños, se recomiendan las agujas atraumáticas, especialmente pequeñas (25G), pues las agujas con punta cortante más larga se asocian a una mayor incidencia de CPPD (65, 68).



## ¿POR QUÉ LA ANESTESIA RAQUÍDEA SE SUBUTILIZA EN LA POBLACIÓN PEDIÁTRICA?

A pesar de los beneficios de la AR pediátrica, especialmente en lactantes prematuros extremos con enfermedad cardiorrespiratoria, la técnica sigue siendo subutilizada y representa menos del 5% de todas las técnicas neuroaxiales (62). La falta de familiaridad con la técnica, tanto durante el proceso de capacitación como durante la práctica, ha hecho que muchos anestesiólogos pediátricos se muestren renuentes a realizar el procedimiento (43, 71). Solo algunas instituciones han adoptado la AR pediátrica como rutina.

Aumentar la adopción de la AR pediátrica requiere una mayor exposición a la técnica, tanto por parte de los estudiantes como de los anestesiólogos tratantes (43). El uso de simulación con modelos neonatales podría ayudar a aumentar el interés y el conocimiento del montaje de los equipos, el posicionamiento y la valoración del riesgo, incluyendo la distancia de la piel al espacio subaracnoideo (72). Tener un colega experimentado, permitir la enseñanza práctica intraoperatoria, incluyendo recomendaciones para identificar problemas, puede mejorar la probabilidad de que colegas menos experimentados se sientan más atraídos a utilizar la AR pediátrica, aunque siendo guiados en sus primeras experiencias (43). Finalmente, el desarrollar un protocolo estandarizado con el equipo perioratorio, enfocándose en el uso eficiente y efectivo de la AR pediátrica, podría promover un entorno en donde el uso de la técnica pudiera estandarizarse.

## SUGERENCIAS PARA INVESTIGACIONES A FUTURO Y DESARROLLO DE LA AR EN PACIENTES PEDIÁTRICOS

Ha habido reportes promisorios del uso de la AR para una lista ampliada de indicacio-

nes en la última década, pero aún quedan preguntas por resolver. Encontrar la manera óptima de mejorar la duración de la AR pediátrica a través de adyuvantes y/o sedación, sin aumentar el riesgo de eventos adversos, requiere de guías basadas en evidencia de mayor calidad. Es importante evaluar dichas estrategias en diferentes grupos etarios, dadas las diferencias fisiológicas y farmacológicas bien conocidas. Más aún, los estudios farmacocinéticos sobre AL utilizados para la AR pediátrica, además de la levobupivacaína, pudieran ayudar a orientar sobre la oportunidad de la redosificación. Finalmente, se necesita más investigación sobre el papel de la ecografía en la AR pediátrica y establecer si existe una manera pragmática de incorporar la tecnología para mejorar la eficacia y la seguridad.

## CONCLUSIONES

A pesar del número creciente de reportes publicados sobre el uso de AR pediátrica a lo largo de última década, sigue siendo subutilizada como modalidad anestésica, representando solo el 5% de todas las técnicas neuroaxiales. Las indicaciones para la AR están aumentando, desde la cirugía tradicional infraumbilical, a reportes más recientes de cirugía supraumbilicales y laparoscópicas con bajas presiones de insuflación. En estos reportes se usó sedación suplementaria IN e IV para prolongar la AR a aproximadamente 90 minutos. El riesgo de apnea postoperatoria persiste en lactantes prematuros extremos < 60 semanas y en lactantes a término < 45 semanas, sometidos a AR con sedación. La anestesia combinada raquídea/caudal en lactantes también puede utilizarse para extender la duración del bloqueo por encima de 90 minutos. La bupivacaína sigue siendo el AL más utilizado para AR, pero la farmacocinética promisoriosa de la levobupivacaína en lactantes resalta su seguridad. El uso de ecografía antes de la AR pediátrica puede brindar imágenes útiles para evaluar la anatomía de la médula espinal, pero la evidencia del

uso de la ecografía tanto antes del procedimiento como para orientar la aguja en tiempo real es limitada.

## Conflictos de interés

No se reportaron conflictos de interés potenciales en relación con el presente artículo.

## Financiamiento

Para esta investigación no se recibieron donaciones específicas de ningún organismo de financiamiento del sector público, comercial o sin fines de lucro.

## REFERENCIA

1. Frawley G, Ingelmo P. Spinal anaesthesia in the neonate. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2010;24(3):337-51. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpa.2010.02.018>
2. Asil K, Yaldiz M. Conus Medullaris Levels on Ultrasonography in Term Newborns: Normal Levels and Dermatological Findings. *Journal of Korean Neurosurgical Society.* 2018;61(6):731-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.3340/jkns.2016.1212.001>
3. Sun M, Tao B, Gao G, Wang H, Shang A. Determination of the normal conus medullaris level in term infants: the role of MRI in early infancy. *J Neurosurg Pediatr.* 2022;29(1):100-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.3171/2021.7.peds21284>
4. Van Schoor A, Bosman MC, Bosenberg AT. The value of Tuffier's line for neonatal neuraxial procedures. *Clin Anat.* 2014;27(3):370-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ca.22218>
5. Hayes J, Borges B, Armstrong D, Srinivasan I. Accuracy of manual palpation vs ultrasound for identifying the intervertebral space level in children. *Pediatr Anesth.* 2014;24(5):510-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/pan.12355>
6. Rochette A, Malenfant Rancourt MP, Sola C, Prodhomme O, Saguintaah M, Schaub R, et al. Cerebrospinal fluid volume in neonates undergoing spinal anaesthesia: a descriptive magnetic resonance imaging study. *Br J*

- Anaesth. 2016;117(2):214-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/bja/aew185>
7. Jang Y-E, Lee J-H, Seo Y-S, Yoon H-C, Lee H-S, Lee H-J, et al. Lumbosacral and thoracolumbosacral cerebrospinal fluid volume changes in neonates, infants, children, and adolescents: A retrospective magnetic resonance imaging study. *Pediatr Anesth.* 2019;29(1):92-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/pan.13530>
  8. Tsui B, Suresh S. Ultrasound Imaging for Regional Anesthesia in Infants, Children, and Adolescents. *Anesthesiology.* 2010;112(3):719-28. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/aln.0b013e-3181c5e03a>
  9. Marhofer P, Bösenberg A, Sitzwohl C, Will-schke H, Wanzel O, Kapral S. Pilot study of neuraxial imaging by ultrasound in infants and children. *Pediatr Anesth.* 2005;15(8):671-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1460-9592.2004.01521.x>
  10. Baskin P, Berde C, Saravanan A, Alrayashi W. Ultrasound-guided spinal anesthesia in infants: a narrative review. *Reg Anesth Pain Med.* 2023;48(12):608-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/rapm-2022-104025>
  11. Du J, Roth C, Dontukurthy S, Tobias JD, Veziano G. Manual Palpation versus Ultrasound to Identify the Intervertebral Space for Spinal Anesthesia in Infants. *J Pain Res.* 2023;16:93-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.2147/jpr.s392438>
  12. Cristiani F, Henderson R, Lauber C, Boretsky K. Success of bedside ultrasound to identify puncture site for spinal anesthesia in neonates and infants. *Reg Anesth Pain Med.* 2019;44:893-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/rapm-2019-100672>
  13. Pessano S, Bruschetti M, Prescott MC, Romantsik O. Positioning for lumbar puncture in newborn infants. *Cochrane Database Syst Rev.* 2023;10(10):Cdo15592. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/14651858.CDo15592.pub2>
  14. Williams RK, Adams DC, Aladjem EV, Kreutz JM, Sartorelli KH, Vane DW, et al. The safety and efficacy of spinal anesthesia for surgery in infants: the Vermont Infant Spinal Registry. *Anesth Analg.* 2006;102(1):67-71. DOI: <http://dx.doi.org/10.1213/01.Ane.0000159162.86033.21>
  15. Handlogten K, Warner L, Granberg C, Gargollo P, Thalji L, Haile D. Implementation of a spinal anesthesia and sedation protocol that reliably prolongs infant spinal anesthesia: Case series of 102 infants who received spinal anesthesia for urologic surgery. *Pediatr Anesth.* 2020;30(12):1355-62. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/pan.14024>
  16. Chen FK, Li LT, Kelleher CM, Liu CA. Infant spinal anesthesia reduces postoperative pain scores and pain medication consumption in infants undergoing inguinal herniorrhaphy. *J Pediatr Surg.* 2020;55(12):2840-3. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2020.08.011>
  17. Frawley G, Hallett B, Velkov T, Bjorksten A. Pharmacokinetics of levobupivacaine following infant spinal anesthesia. *Pediatr Anesth.* 2016;26(6):575-81. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/pan.12899>
  18. Suresh S, Ecoffey C, Bosenberg A, Lonqvist PA, de Oliveira GS, Jr., de Leon Casasola O, et al. The European Society of Regional Anaesthesia and Pain Therapy/American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine Recommendations on Local Anesthetics and Adjuvants Dosage in Pediatric Regional Anesthesia. *Reg Anesth Pain Med.* 2018;43(2):211-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/aap.0000000000000702>
  19. Mazoit J-X, Dalens BJ. Pharmacokinetics of Local Anaesthetics in Infants and Children. *Clin Pharmacokinet.* 2004;43(1):17-32. DOI: <http://dx.doi.org/10.2165/00003088-200443010-00002>
  20. Frawley G, Cortinez LI, Anderson BJ. Prediction of levobupivacaine concentrations in neonates and infants following neuraxial rescue blocks. *Pediatr Anesth.* 2021;31(6):655-64. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/pan.14170>
  21. Frawley G, Huque MH. Infant spinal anesthesia: Do girls need a larger dose of local anesthetic? *Pediatr Anesth.* 2017;27(10):1037-42. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/pan.13219>
  22. Frawley G, Smith KR, Ingelmo P. Relative potencies of bupivacaine, levobupivacaine, and ropivacaine for neonatal spinal anaesthesia. *Br J Anaesth.* 2009;103(5):731-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/bja/aep259>
  23. Kokki H, Hendolin H. No difference between bupivacaine in 0.9% and 8% glucose for spinal anaesthesia in small children. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2000;44(5):548-51. DOI: <http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-6576.2000.00510.x>
  24. Frawley G, Bell G, Disma N, Withington DE, De Graaff JC, Morton NS, et al. Predictors of Failure of Awake Regional Anesthesia for Neonatal Hernia Repair. *Anesthesiology.* 2015;123(1):55-65. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/aln.0000000000000708>
  25. Kokki H, Ylönen P, Laisalmi M, Heikkinen M, Reinikainen M. Isobaric ropivacaine 5 mg/ml for spinal anesthesia in children. *Anesth Analg.* 2005;100(1):66-70. DOI: <http://dx.doi.org/10.1213/01.Ane.0000140246.78944.A5>
  26. Kokki M, Heikkinen M, Kumpulainen E, Vähäoja A, Kokki H. Levobupivacaine for Spinal Anesthesia in Children: Cerebrospinal Fluid Aspiration Before the Injection Does not Affect the Spread or Duration of the Sensory Block. *Anesth Pain Med.* 2016;6(3):e33815. DOI: <http://dx.doi.org/10.5812/aapm.33815>
  27. Gupta A, Saha U. Spinal anesthesia in children: A review. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol.* 2014;30(1):10-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.4103/0970-9185.125687>
  28. Whitaker EE, Chao JY, Holmes GL, Legatt AD, Yozawitz EG, Purdon PL, et al. Electroencephalographic assessment of infant spinal anesthesia: A pilot prospective observational study. *Pediatr Anesth.* 2021;31(11):1179-86. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/pan.14294>
  29. Holman AE, Puglia MP, 2nd. Loss of Corneal Reflex in Children Undergoing Spinal Anesthesia: A Case Series. *A A Pract.* 2020;14(1):9-11. DOI: <http://dx.doi.org/10.1213/xxa.0000000000001127>
  30. Santa Cruz Mercado LA, Lee JM, Liu R, Deng H, Johnson JJ, Chen AL, et al. Age-Dependent Electroencephalogram Features in Infants Under Spinal Anesthesia Appear to Mirror Physiologic Sleep in the Developing Brain: A Prospective Observational Study. *Anesth Analg.* 2023;137(6):1241-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1213/01.Ane.0000000000006410>
  31. Shenkman Z, Johnson VM, Zurakowski D, Arnon S, Sethna NF. Hemodynamic changes during spinal anesthesia in premature infants with congenital heart disease undergoing inguinal hernia correction. *Pediatr Anesth.* 2012;22(9):865-70. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1460-9592.2012.03873.x>
  32. Bosenberg A. Benefits of regional anesthesia in children. *Pediatr Anesth.* 2012;22(1):10-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1460-9592.2011.03691.x>

33. Disma N, Clunies-Ross N, Chalkiadis GA. Is spinal anaesthesia in young infants really safer and better than general anaesthesia? *Curr Opin Anaesthesiol.* 2018;31(3):302-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/aco.0000000000000578>
34. McCann ME, Withington DE, Arnup SJ, Davidson AJ, Disma N, Frawley G, et al. Differences in Blood Pressure in Infants After General Anesthesia Compared to Awake Regional Anesthesia (GAS Study-A Prospective Randomized Trial). *Anesth Analg.* 2017;125(3):837-45. DOI: <http://dx.doi.org/10.1213/ane.0000000000001870>
35. Froysheter AB, Tumin D, Whitaker EE, Martin DP, Hakim M, Walia H, et al. Changes in tissue and cerebral oxygenation following spinal anesthesia in infants: a prospective study. *J Anesth.* 2018;32(2):288-92. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00540-017-2446-8>
36. Sola C, Hertz L, Bringuier S, De La Arena P, Macq C, Deziel-Malouin S, et al. Spinal anaesthesia in neonates and infants: what about the cerebral oxygen saturation? *Br J Anaesth.* 2017;119(5):964-71. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/bja/aex218>
37. Slupe AM, Kirsch JR. Effects of anesthesia on cerebral blood flow, metabolism, and neuroprotection. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2018;38(12):2192-208. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0271678x18789273>
38. Humphreys N, Bays Simon M, Parry Andrew J, Pawade A, Heyderman Robert S, Wolf Andrew R. Spinal Anesthesia with an Indwelling Catheter Reduces the Stress Response in Pediatric Open Heart Surgery. *Anesthesiology.* 2005;103(6):1113-20. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/00000542-200512000-00003>
39. Davidson AJ, Morton NS, Arnup SJ, De Graaff JC, Disma N, Withington DE, et al. Apnea after Awake Regional and General Anesthesia in Infants. *Anesthesiology.* 2015;123(1):38-54. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/aln.0000000000000709>
40. Dohms K, Hein M, Rossaint R, Coburn M, Stoppe C, Ehret CB, et al. Inguinal hernia repair in preterm neonates: is there evidence that spinal or general anaesthesia is the better option regarding intraoperative and postoperative complications? A systematic review and meta-analysis. *BMJ Open.* 2019;9(10):e028728. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2018-028728>
41. Sánchez-Conde MP, Díaz-Alvarez A, Palomeiro Rodríguez M, Garrido Gallego MI, Martín Rollan G, de Vicente Sánchez J, et al. Spinal anesthesia compared with general anesthesia for neonates with hypertrophic pyloric stenosis. A retrospective study. *Pediatr Anesth.* 2019;29(9):938-44. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/pan.13710>
42. Eizaga Rebollar R, García Palacios MV, Morales Guerrero J, Torres Morera LM. Pediatric spinal anesthesia at a tertiary care hospital: Eleven years after. *Pediatr Anesth.* 2022;32(5):617-24. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/pan.14414>
43. Sanofsky B, Whitaker E, Waldschmidt B. Current utilization of infant spinal anesthesia: A survey of members of the Society for Pediatric Anesthesia. *Pediatr Anesth.* 2023;33(7):588-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/pan.14659>
44. Lundblad M, Lönnqvist PA. Adjunct analgesic drugs to local anaesthetics for neuroaxial blocks in children. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2016;29(5):626-31. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/aco.0000000000000372>
45. Walker SM, Yaksh TL. Neuraxial Analgesia in Neonates and Infants. *Anesth Analg.* 2012;115(3):638-62. DOI: <http://dx.doi.org/10.1213/ane.0b013e31826253f2>
46. Rochette A, Troncin R, Raux O, Dadure C, Lubrano JF, Barbotte E, et al. Clonidine added to bupivacaine in neonatal spinal anesthesia: a prospective comparison in 124 preterm and term infants. *Pediatr Anesth.* 2005;15(12):1072-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1460-9592.2005.01664.x>
47. Fares KM, Mohamed SA, Abd El-Rahman AM, Abdelmeham RM, Osman AMM. Analgesic Effect of Intrathecal Fentanyl vs Dexmedetomidine as Adjuvants to Bupivacaine Following Abdominal Surgery for Cancer in Children, a Randomized Trial. *Pain Med.* 2020;21(11):2634-41. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/pm/pnaa259>
48. Arends J, Tobias JD. Hypothermia Following Spinal Anesthesia in an Infant: Potential Impact of Intravenous Dexmedetomidine and Intrathecal Clonidine. *J Med Cases.* 2019;10(11):319-22. DOI: <http://dx.doi.org/10.14740/jmc3391>
49. Musa A, Acosta FL, Tuchman A, Movahedi R, Pendi K, Nassif L, et al. Addition of Intrathecal Morphine for Postoperative Pain Management in Pediatric Spine Surgery: A Meta-analysis. *Clin Spine Surg.* 2019;32(3):104-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/bsd.0000000000000782>
50. Shama AA, Ng KT, Shahen MM, Abosamak MF. Effect of adding midazolam to intrathecal bupivacaine in children undergoing lower abdominal surgeries: A randomised controlled trial. *Indian J Anaesth.* 2022;66(3):200-6. DOI: [http://dx.doi.org/10.4103/ija.ija\\_466\\_21](http://dx.doi.org/10.4103/ija.ija_466_21)
51. Alsuhehani M, Martin DP, Relland L, Bhalla T, Beebe A, Whitaker A, et al. Spinal anesthesia instead of general anesthesia for infants undergoing tendon Achilles lengthening. *Local and Regional Anesthesia.* 2018;11:25-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.2147/lra.s157650>
52. Chiao F, Boretsky K. Laparoscopic Surgery in Infants Under Spinal Anesthesia Block: A Case Report of 3 Cases. *A A Pract.* 2019;12(5):168-70. DOI: <http://dx.doi.org/10.1213/xxa.0000000000000876>
53. Eizaga Rebollar R, García Palacios MV, Morales Guerrero J, Torres Morera LM. Spinal Anesthesia for Pediatric Laparoscopic Hernia Repair: A Case Report. *A A Pract.* 2018;11(11):293-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1213/xxa.0000000000000810>
54. Islam S, Larson SD, Kays DW, Irwin MD, Carvalho N. Feasibility of laparoscopic pyloromyotomy under spinal anesthesia. *J Pediatr Surg.* 2014;49(10):1485-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2014.02.083>
55. Whitaker EE, Wiemann BZ, DaJusta DG, Alpert SA, Ching CB, McLeod DJ, et al. Spinal anesthesia for pediatric urological surgery: Reducing the theoretic neurotoxic effects of general anesthesia. *J Pediatr Urol.* 2017;13(4):396-400. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpurol.2017.06.006>
56. Kokki H, Heikkinen M, Ahonen R. Recovery after paediatric daycase herniotomy performed under spinal anaesthesia. *Pediatr Anesth.* 2000;10(4):413-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1460-9592.2000.00498.x>
57. Jayanthi VR, Spisak K, Smith AE, Martin DP, Ching CB, Bhalla T, et al. Combined spinal/caudal catheter anesthesia: extending the boundaries of regional anesthesia for complex pediatric urological surgery. *J Pediatr Urol.* 2019;15(5):442-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpurol.2019.04.004>

58. Jefferson FA, Findlay BL, Handlogten KS, Gargollo PC, Warner LL, Woodbury JM, et al. Spinal anesthesia in infants undergoing urologic surgery duration greater than 60 minutes. *J Pediatr Urol.* 2022;18(6):786.e1-e7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpuro.2022.07.003>
59. McVey JD, Tobias JD. Dexmedetomidine and ketamine for sedation during spinal anesthesia in children. *J Clin Anesth.* 2010;22(7):538-45. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclinane.2010.03.002>
60. Gupta A, Kamal G, Gupta N, Aggarwal A. Combined Spinal-Epidural Anesthesia With Dexmedetomidine-Based Sedation for Multiple Corrective Osteotomies in a Child With Osteogenesis Imperfecta Type III: A Case Report. *A A Case Rep.* 2017;9(2):60-3. DOI: <http://dx.doi.org/10.1213/xxa.0000000000000527>
61. Heydinger G, Tobias J, Veneziano G. Fundamentals and innovations in regional anaesthesia for infants and children. *Anaesthesia.* 2021;76 Suppl 1:74-88. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/anae.15283>
62. Walker BJ, Long JB, Sathyamoorthy M, Birstler J, Wolf C, Bosenberg AT, et al. Complications in Pediatric Regional Anesthesia: An Analysis of More than 100,000 Blocks from the Pediatric Regional Anesthesia Network. *Anesthesiology.* 2018;129(4):721-32. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/aln.0000000000002372>
63. Oliver A. Dural punctures in children: what should we do? *Pediatr Anesth.* 2002;12(6):473-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1460-9592.2002.00806.x>
64. Al Wosaibai A, Alfaraj A, Alshabeb AK. Management of postdural puncture headache in pediatric using an epidural catheter for an epidural blood patch. *Saudi J Anaesth.* 2020;14(3):394-6. DOI: [http://dx.doi.org/10.4103/sja.SJA\\_779\\_19](http://dx.doi.org/10.4103/sja.SJA_779_19)
65. Bandatmakur M, Bench C, Ngwa N, Osman H, Dave P, Farooqi A, et al. Factors Predisposing to Post Dural Puncture Headache in Children. *J Child Neurol.* 2021;36(10):831-40. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/08830738211007699>
66. Kokki H. Spinal blocks. *Pediatr Anesth.* 2012;22(1):56-64. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1460-9592.2011.03693.x>
67. Colpan B, Apiliogullari S, Erdur O, Celik JB, Duman A, Senaran H, et al. The effects of spinal anesthesia on auditory function in pediatric patients. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2016;88:199-202. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijporl.2016.07.006>
68. Rusch R, Schulta C, Hughes L, Withycombe JS. Evidence-Based Practice Recommendations to Prevent/Manage Post-Lumbar Puncture Headaches in Pediatric Patients Receiving Intrathecal Chemotherapy. *J Pediatr Oncol Nurs.* 2014;31(4):230-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/1043454214532026>
69. Kokki M, Sjövall S, Kokki H. Epidural blood patches are effective for postdural puncture headache in pediatrics--a 10-year experience. *Pediatr Anesth.* 2012;22(12):1205-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/pan.12034>
70. Arevalo-Rodriguez I, Muñoz L, Godoy-Casasbuenas N, Ciapponi A, Arevalo JJ, Boogaard S, et al. Needle gauge and tip designs for preventing post-dural puncture headache (PDPH). *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;4(4):Cd010807. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/14651858.CD010807.pub2>
71. Rehfuss A, Bogaert G, Kogan BA. Spinal anesthesia in children: most pediatric urologists are not on board. *J Pediatr Urol.* 2019;15(3):263.e1-e5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpuro.2019.02.020>
72. McMillan HJ, Writer H, Moreau KA, Eady K, Sell E, Lobos A-T, et al. Lumbar puncture simulation in pediatric residency training: improving procedural competence and decreasing anxiety. *BMC Med Educ.* 2016;16(1):198. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s12909-016-0722-1>