

Complicaciones graves en cirugía neurológica de alta complejidad en pacientes pediátricos: revisión sistemática conforme a PRISMA 2020.

Serious complications in high-complexity neurological surgery in pediatric patients: a systematic review according to PRISMA 2020.

Complicações graves em cirurgia neurológica de alta complexidade em pacientes pediátricos: revisão sistemática conforme PRISMA 2020.

Leonela Estefany Peña Choez
Universidad de Guayaquil
Ecuador
leonelapena42@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-4296-7732>

Steven Eduardo Carpio Candelario
Universidad Casa Grande
Ecuador
steven.carpio@casagrande.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-4036-3331>

Forma de citación en APA, séptima edición.

Peña, L., y Carpio, S. (2026). *Complicaciones graves en cirugía neurológica de alta complejidad en pacientes pediátricos: revisión sistemática conforme a PRISMA 2020*. Revista Ibero Research, 1(7), 339 - 377.

Fecha de presentación: 20/08/2026

Fecha de aceptación: 03/09/2026

Fecha de publicación: 04/09/2026

Resumen

La cirugía neurológica pediátrica de alta complejidad exige controlar riesgos derivados de la inmadurez fisiológica, la localización anatómica y la naturaleza del procedimiento. El objetivo fue analizar sistemáticamente las complicaciones graves perioperatorias y posoperatorias, sus factores asociados y las estrategias preventivas en pacientes menores de 18 años. Se desarrolló una revisión sistemática con síntesis cualitativa conforme a PRISMA 2020, utilizando el documento base y una actualización bibliográfica verificable en literatura biomédica indexada hasta 2026, sin combinar estadísticamente resultados heterogéneos. La evidencia mostró perfiles diferenciados: 3,5 % de complicaciones intraoperatorias en una serie de 1.807 procedimientos, 9,8 % de eventos en craneosinostosis, 8,39 % de déficit neurológico persistente tras cirugía tumoral en una cohorte y reducción del riesgo de infección con derivaciones impregnadas con antibióticos. La edad temprana, la cirugía prolongada, la pérdida sanguínea, la localización infratentorial, la manipulación vascular, las comorbilidades y la posición quirúrgica modificaron el riesgo. Se concluyó que la seguridad depende de prevención multimodal, neuroanestesia especializada, estandarización de resultados y vigilancia posoperatoria intensiva.

Palabras clave: seguridad perioperatoria; neuroanestesia; eventos adversos; cuidados intensivos; morbilidad quirúrgica.

Abstract

High-complexity pediatric neurological surgery requires control of risks arising from physiological immaturity, anatomical location, and procedure characteristics. The objective was to systematically analyze severe perioperative and postoperative complications, associated factors, and preventive strategies in patients younger than 18 years. A systematic review with qualitative synthesis was conducted according to PRISMA 2020, using the base document and a verifiable update of indexed biomedical literature through 2026, without statistically pooling heterogeneous outcomes. The evidence showed distinct risk profiles: 3.5% intraoperative complications in a series of 1,807 procedures, 9.8% adverse events in craniosynostosis, 8.39% persistent neurological deficit after tumor surgery in one cohort, and reduced infection risk with antibiotic-impregnated shunts. Young age, prolonged surgery, blood loss, infratentorial location, vascular manipulation, comorbidities, and surgical position modified risk. Safety therefore depends on multimodal prevention, specialized neuroanesthesia, standardized outcome reporting, and intensive postoperative surveillance.

Keywords: perioperative safety; neuroanesthesia; adverse events; intensive care; surgical morbidity.

Resumo

A cirurgia neurológica pediátrica de alta complexidade exige controle de riscos decorrentes da imaturidade fisiológica, da localização anatômica e das características do procedimento. O objetivo foi analisar sistematicamente as complicações graves perioperatórias e pós-operatórias, seus fatores associados e as estratégias preventivas em pacientes menores de 18 anos. Foi realizada revisão sistemática com síntese qualitativa conforme PRISMA 2020, utilizando o documento-base e atualização bibliográfica verificável da literatura biomédica indexada até 2026, sem combinar estatisticamente resultados heterogêneos. A evidência mostrou perfis distintos: 3,5% de complicações intraoperatórias em 1.807 procedimentos, 9,8% de eventos em craniossinostose, 8,39% de déficit neurológico persistente após cirurgia tumoral em uma coorte e menor risco de infecção com derivações impregnadas com antibióticos. Idade precoce, cirurgia prolongada, perda sanguínea, localização infratentorial, manipulação vascular, comorbidades e posição cirúrgica modificaram o risco. Concluiu-se que a segurança depende de prevenção multimodal, neuroanestesia especializada, padronização dos desfechos e vigilância pós-operatória intensiva.

Palavras-chave: segurança perioperatória; neuroanestesia; eventos adversos; terapia intensiva; morbidade cirúrgica.

Introducción

La neurocirugía pediátrica de alta complejidad reúne procedimientos en los que una alteración perioperatoria puede traducirse en secuelas neurológicas, dependencia funcional o mortalidad por la proximidad de estructuras elocuentes y la menor reserva fisiológica infantil. La seguridad del paciente exige prevención y respuesta organizada al daño evitable, mientras que las diferencias pediátricas en volemia, autorregulación, metabolismo y respuesta a hipotensión e hipoxemia impiden extrapolar de forma directa la experiencia adulta (1).

La variabilidad en la definición de complicación también condiciona la comparación entre centros. El consenso del Canadian Pediatric Neurosurgery Study Group propuso criterios específicos para mejorar el registro de morbilidad, reintervención y secuelas (2). En 1.807 procedimientos se documentaron 3,5 % de complicaciones intraoperatorias y mortalidad de 0,17 %; bases multicéntricas y cohortes prospectivas posteriores ampliaron la medición hacia readmisión y revisión, con 9,2 % de eventos quirúrgicos en 1.008 pacientes, mientras ClassIntra relacionó mayor gravedad intraoperatoria con peor recuperación (3-6).

La neuroanestesia modifica el riesgo, especialmente en procedimientos prolongados y de fosa posterior, donde posición, retorno venoso, ventilación y estabilidad hemodinámica requieren control continuo; se han descrito complicaciones tanto en posición sentada como park-bench (7). La craneosinostosis muestra un perfil hemorrágico particular: una revisión de 33 manuscritos estimó 9,8 % de eventos, 7,2 % tras cirugía endoscópica y 13,5 % después de reconstrucción abierta, con transfusión por pérdida sanguínea en 35,7 % (8).

La neuro-oncología concentra déficit neurológico, alteraciones del líquido cefalorraquídeo, infección y reintervención. En 477 procedimientos se observó

mortalidad a 30 días de 1,26 % y déficit persistente de 8,39 %; una cohorte nacional informó 34,2 % de morbilidad significativa, mientras revisiones de indicadores señalaron falta de uniformidad y una cohorte prospectiva registró eventos significativos en 27,4 % de 285 procedimientos. Estos hallazgos muestran que la mortalidad aislada no representa toda la carga posoperatoria (9-12).

En tumores de fosa posterior, el síndrome de mutismo cerebeloso posoperatorio puede dejar secuelas que superan la recuperación del habla. Un metaanálisis de 2.276 pacientes relacionó el síndrome con invasión del cuarto ventrículo, tronco cerebral, pedúnculo cerebeloso superior, meduloblastoma e incisión del vermis; una revisión de 2026 confirmó factores anatómicos y tumorales semejantes, y otra síntesis mostró alteraciones prolongadas de velocidad de procesamiento, función psicomotora y funciones ejecutivas (13-15).

La cirugía de epilepsia farmacorresistente exige balancear control de crisis y riesgo neurológico. Las revisiones muestran heterogeneidad marcada en la medición de calidad de vida, cognición, conducta y complicaciones (16,17). En espasmos epilépticos la libertad de crisis fue cercana a 68,8 %, mientras una síntesis de cirugía realizada antes de los seis meses informó 65,6 % de libertad de crisis y 27,7 % de complicaciones; los abordajes tempranos pueden ser favorables cuando la selección se realiza en centros especializados (18-20).

La hidrocefalia agrega riesgos por infección, obstrucción y dependencia del dispositivo. Las infecciones de shunt se estiman aproximadamente entre 5 % y 15 %, y los catéteres impregnados con antibióticos reducen el riesgo frente a sistemas convencionales en metaanálisis; la menor edad y ciertas comorbilidades incrementan la vulnerabilidad (21-24). La comparación entre ventriculostomía endoscópica y derivación

ventriculoperitoneal muestra perfiles diferentes, y una cohorte de Lima identificó la infección como principal causa de fallo durante el primer año (25,26).

Las infecciones del sitio quirúrgico fuera de los shunts también producen morbilidad importante. En 9.296 procedimientos se registró una frecuencia de 2,7 %, con mayor carga de sepsis, readmisión y reintervención en infecciones profundas, y el análisis de factores asociados respaldó el ajuste por complejidad para comparar instituciones (27,28). La anemia posoperatoria completa este perfil de vulnerabilidad, porque la pérdida sanguínea y la transfusión tienen repercusión proporcionalmente mayor en niños con menor volumen circulante (29).

La prevención requiere integrar comunicación, verificación del procedimiento, disponibilidad de hemoderivados, anticipación de vía aérea difícil, profilaxis antimicrobiana y planes de rescate. La lista de seguridad quirúrgica de la Organización Mundial de la Salud proporciona un marco adaptable a neurocirugía pediátrica, al que deben añadirse neuroanestesia especializada, monitorización fisiológica y neurofisiológica cuando corresponda, conservación sanguínea y vigilancia posoperatoria intensiva (30).

El problema de investigación no se limita a enumerar complicaciones, sino a determinar cómo se distribuyen entre procedimientos con mecanismos de riesgo diferentes y qué factores modificables pueden reducir su impacto. El objetivo general fue analizar sistemáticamente la evidencia sobre complicaciones graves asociadas con cirugía neurológica de alta complejidad en pacientes pediátricos, identificando eventos intraoperatorios y posoperatorios, factores de riesgo, diferencias por procedimiento, estrategias preventivas y repercusión sobre morbilidad, mortalidad y recuperación neurológica.

Metodología

Se desarrolló una revisión sistemática con síntesis predominantemente cualitativa y orientación a seguridad quirúrgica pediátrica. La organización del reporte siguió los principios de PRISMA 2020, que establece criterios para transparentar la pregunta, las fuentes de información, la selección, la extracción, la evaluación crítica y la síntesis de la evidencia, sin asumir que el cumplimiento del reporte sustituye la valoración metodológica de cada estudio (31,32).

La pregunta se estructuró mediante una estrategia PICO adaptada a estudios de seguridad. La población correspondió a pacientes menores de 18 años sometidos a neurocirugía, la intervención o exposición incluyó procedimientos neuroquirúrgicos de alta complejidad, la comparación comprendió técnicas, posiciones, estrategias perioperatorias o grupos de riesgo cuando estaban disponibles, y los desenlaces abarcaron complicaciones intraoperatorias y posoperatorias graves, hemorragia, infección, déficit neurológico, crisis convulsivas, eventos anestésicos, reintervención y mortalidad.

El documento de investigación proporcionado se utilizó como base principal para conservar el tema, la pregunta, los objetivos, las categorías clínicas, las cifras previamente seleccionadas y el enfoque PRISMA. La actualización bibliográfica se extendió hasta septiembre de 2026 y priorizó PubMed/MEDLINE, registros de PubMed Central, páginas oficiales de revistas científicas y documentos de la Organización Mundial de la Salud, con verificación cruzada de DOI, año, volumen, páginas y datos cuantitativos cuando se encontraban disponibles.

La estrategia conceptual combinó términos libres y vocabulario biomédico relacionado con pediatric neurosurgery, neurosurgical complications, postoperative complications, intraoperative adverse events, pediatric brain tumor, posterior fossa, craniosynostosis,

hydrocephalus, shunt infection, epilepsy surgery, hemorrhage, blood transfusion, neurological deficit, cerebellar mutism, anesthesia complications, morbidity y mortality.

Se emplearon operadores AND y OR para vincular población, procedimiento y desenlaces, y se realizaron búsquedas dirigidas adicionales para estrategias preventivas y resultados específicos.

Se priorizaron publicaciones en inglés o español con población pediátrica o análisis separable de menores de 18 años, estudios observacionales, cohortes prospectivas o retrospectivas, estudios multicéntricos, revisiones sistemáticas, metaanálisis y documentos normativos pertinentes. Se incluyeron trabajos que aportaran información verificable sobre incidencia, frecuencia, gravedad, factores de riesgo, intervenciones preventivas o resultados funcionales relacionados directamente con procedimientos neuroquirúrgicos pediátricos de alta complejidad.

Se excluyeron estudios exclusivamente adultos, publicaciones sin resultados relacionados con complicaciones, documentos sin información metodológica suficiente, reportes aislados sin aporte relevante a la síntesis, estudios animales y materiales no científicos. Cuando varias publicaciones abordaban la misma pregunta, se priorizaron las revisiones sistemáticas recientes y las cohortes de mayor tamaño, sin eliminar estudios previos cuando aportaban definiciones consensuadas, bases nacionales o cifras fundamentales para contextualizar la evolución del conocimiento.

La selección bibliográfica se efectuó por pertinencia temática, relación directa con los objetivos y capacidad de aportar datos reproducibles. Para disminuir el riesgo de incorporar referencias inexactas, cada fuente utilizada en la versión final se contrastó mediante registro bibliográfico disponible, identificador DOI o ficha de PubMed cuando correspondía. No se incorporaron autores, tamaños muestrales, porcentajes, intervalos

de confianza ni efectos estadísticos que no estuvieran respaldados por el documento base o por una publicación verificable.

La extracción de información consideró autor y año, diseño, país o contexto, número de pacientes o procedimientos, diagnóstico principal, tipo de cirugía, duración o posición cuando estaban reportadas, complicaciones intraoperatorias, complicaciones posoperatorias, hemorragia, transfusión, infección, déficit neurológico, crisis, eventos respiratorios y cardiovasculares, reintervención, mortalidad, seguimiento, factores de riesgo y estrategias de prevención. Se conservaron las unidades y medidas de efecto originales de las publicaciones.

La valoración metodológica fue cualitativa y consideró diseño prospectivo o retrospectivo, tamaño muestral, procedencia unicéntrica o multicéntrica, claridad de las definiciones, duración del seguimiento, ajuste estadístico y consistencia de los desenlaces. Los metaanálisis se utilizaron cuando ofrecían estimaciones publicadas con intervalos de confianza, pero no se realizó un nuevo metaanálisis porque la combinación de tumores, craneosinostosis, hidrocefalia, epilepsia, cirugía vascular y anestesia generaba heterogeneidad clínica y metodológica incompatible con una medida global única.

Los resultados se organizaron por perfiles de riesgo y no por una jerarquía artificial de procedimientos. Se construyeron cuatro tablas con síntesis de estudios, evidencia hemorrágica, resultados neuro-oncológicos y evidencia sobre hidrocefalia e infección, acompañadas por cuatro gráficos derivados únicamente de datos publicados. Los gráficos descriptivos no se interpretaron como estimaciones combinadas y las diferencias entre estudios se mantuvieron explícitas para evitar comparaciones causales inadecuadas.

El primer gráfico resumió frecuencias publicadas de eventos adversos seleccionados con denominadores y definiciones diferentes, por lo que su finalidad fue mostrar la amplitud de la morbilidad informada y no establecer superioridad entre procedimientos. El segundo representó magnitudes de reducción de pérdida sanguínea o transfusión con ácido tranexámico comunicadas por metaanálisis independientes, mientras que el tercero reprodujo odds ratios publicados para factores de mutismo cerebeloso y el cuarto comparó complicaciones entre ventriculostomía endoscópica y derivación ventriculoperitoneal dentro de una misma síntesis.

No se calcularon incidencias globales propias ni efectos combinados adicionales, debido a que los desenlaces no compartían definiciones, ventanas de seguimiento ni poblaciones equivalentes. Cuando una fuente informaba más de un resultado, se seleccionó el indicador que respondía mejor al objetivo de seguridad quirúrgica. Los valores se expresaron como porcentajes, riesgos relativos, odds ratios, diferencias medias o intervalos de confianza según la medida original, sin transformar resultados para aumentar artificialmente su comparabilidad.

La revisión utilizó exclusivamente información publicada y datos agregados, sin intervención sobre pacientes ni acceso a historias clínicas identificables. La dimensión ética se centró en fidelidad de la extracción, trazabilidad de las fuentes, ausencia de fabricación de datos y respeto de la autoría científica. La interpretación se mantuvo dentro del alcance de la evidencia disponible, especialmente cuando los estudios eran retrospectivos, unicéntricos o presentaban desenlaces definidos de forma heterogénea.

Resultados

La síntesis confirmó que la expresión 'complicación grave' abarca eventos con mecanismos y consecuencias diferentes, desde una lesión vascular intraoperatoria hasta infección, hidrocefalia, deterioro neurológico persistente o reintervención. La frecuencia publicada cambia de acuerdo con la definición utilizada, el procedimiento, la edad, el seguimiento y la complejidad institucional, por lo que los porcentajes deben interpretarse dentro de cada estudio y no como una tasa única aplicable a toda neurocirugía pediátrica.

La Tabla 1 reúne estudios representativos que permiten observar la amplitud de los desenlaces. Las cohortes generales aportan una visión transversal de seguridad, mientras que los estudios de neuro-oncología, craneosinostosis, epilepsia y prevención de infección muestran perfiles específicos. La combinación de fuentes prospectivas, retrospectivas y metaanalíticas fue útil para reconocer patrones sin confundir diferencias de diseño con diferencias verdaderas de riesgo.

Tabla 1. Estudios representativos y magnitud de complicaciones en neurocirugía pediátrica de alta complejidad

Estudio	Diseño / población	Procedimiento	Resultado principal
van Lindert et al. (2016) (3)	Serie, 1.807 procedimientos	Neurocirugía pediátrica diversa	3,5 % complicaciones intraoperatorias; mortalidad 0,17 %
Lenga et al. (2025) (5)	Prospectivo, 1.008 pacientes	Neurocirugía pediátrica diversa	9,2 % eventos quirúrgicos; 5,2 % revisión; mortalidad 0,4 %
Radu et al. (2024) (7)	Retrospectivo, 41 pacientes	Fosa posterior	Complicaciones anestésicas 71,78 % sentada y 88,89 % park-bench
Bashiryan et al. (2025) (8)	RS/metaanálisis, 33 manuscritos	Craneosinostosis	9,8 % eventos; 7,2 % endoscópica; 13,5 % abierta
Foster et al. (2021) (9)	477 procedimientos / 335 pacientes	Tumor cerebral	Mortalidad 30 d 1,26 %; déficit persistente 8,39 %
Henriksen et al. (2024) (10)	473 procedimientos / 349 niños	Tumor SNC	Morbilidad significativa 34,2 %; déficit 41,4 %
Campbell et al. (2025) (12)	Prospectivo, 285 procedimientos	Tumor cerebral	27,4 % con ≥1 evento significativo; reoperación 11,6 %

Makridis et al. (2022) (19)	RS/metaanálisis, 158 lactantes	Cirugía de epilepsia ≤6 meses	27,7 % complicaciones; hidrocefalia 14,71 %
Sherrod y Rocque (2017) (27)	Base nacional, 9.296 procedimientos	Neurocirugía sin shunt	2,7 % infección del sitio quirúrgico

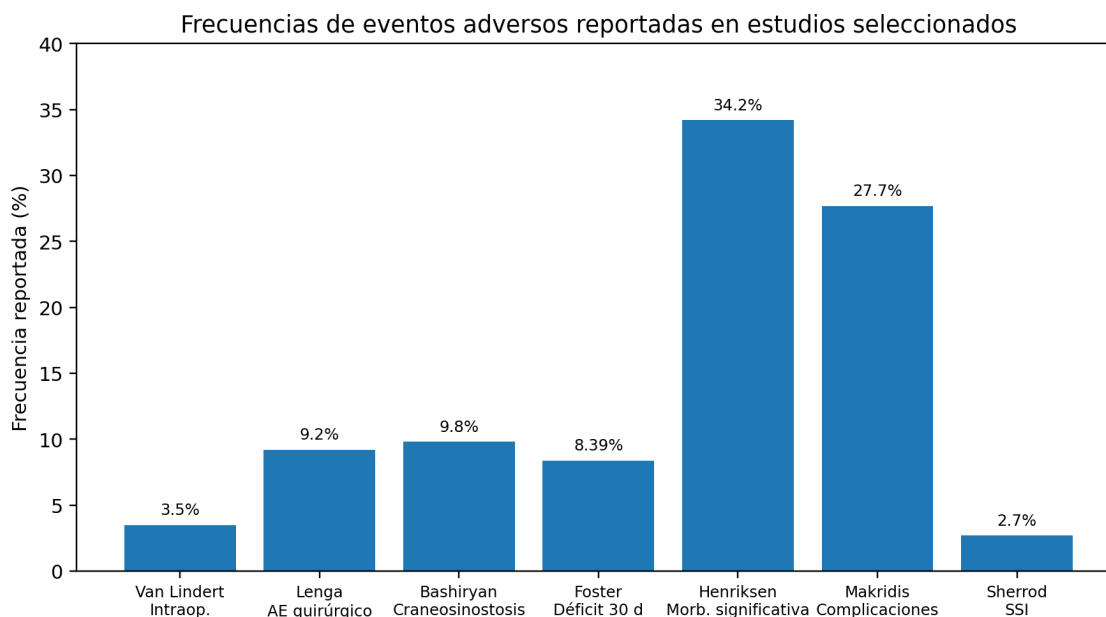
Fuente: elaboración a partir de los estudios citados (3,5,7-10,12,19,27). RS: revisión sistemática; SNC: sistema nervioso central; d: días.

La tabla evidencia que la magnitud del evento cambia sustancialmente según lo que se mida. La tasa de 3,5 % de complicaciones intraoperatorias de van Lindert et al. corresponde a eventos ocurridos durante la intervención, mientras que la morbilidad significativa de 34,2 % de Henriksen et al. incluye complicaciones que requirieron anestesia general, ingreso a cuidados intensivos, déficit persistente o muerte. Esta diferencia metodológica impide ordenar los estudios como si describieran un mismo desenlace.

Las cohortes prospectivas recientes muestran que la vigilancia sistemática modifica la capacidad para capturar eventos. Lenga et al. registraron 9,2 % de eventos relacionados con cirugía y 5,2 % de revisiones en una población amplia, mientras que Campbell et al. documentaron eventos significativos en más de una cuarta parte de procedimientos tumorales. En ambos casos, la utilidad principal radica en describir el recorrido perioperatorio completo y no solamente la mortalidad.

Para visualizar la variación de frecuencias publicadas, el Gráfico 1 presenta indicadores seleccionados sin combinar sus denominadores. Se mantuvo en cada barra el desenlace originalmente informado, lo que permite apreciar que la frecuencia aumenta cuando la definición incluye morbilidad posoperatoria amplia, mientras que es menor cuando el indicador se restringe a un evento específico, como infección del sitio quirúrgico.

Gráfico 1. Frecuencias de eventos adversos reportadas en estudios seleccionados



Fuente: elaboración a partir de datos publicados en van Lindert et al. (3), Lenga et al. (5), Bashiryan et al. (8), Foster et al. (9), Henriksen et al. (10), Makridis et al. (19) y Sherrod y Rocque (27). Los desenlaces no son homogéneos y no representan un metaanálisis.

El Gráfico 1 muestra un rango aproximado entre 2,7 % y 34,2 % en los indicadores seleccionados, pero esa amplitud no representa una distribución epidemiológica común. La cifra de 34,2 % corresponde a morbilidad significativa en cirugía tumoral, el 27,7 % a complicaciones en lactantes sometidos a cirugía de epilepsia, y el 2,7 % a infección de sitio quirúrgico en procedimientos no relacionados con shunt. La lectura correcta exige conservar el contexto clínico y la definición de cada estudio.

El componente hemorrágico adquirió especial relevancia en craneosinostosis y cirugía de bóveda craneal. La revisión de Bashiryan et al. confirmó mayor incidencia global de eventos en reconstrucción abierta que en cirugía endoscópica, y la transfusión por pérdida sanguínea fue el evento quirúrgico más frecuente. La evidencia contemporánea ha evaluado protocolos de manejo sanguíneo y ácido tranexámico como estrategias para reducir exposición a hemoderivados sin suponer que una intervención aislada elimina todo el riesgo.

La Tabla 2 resume datos cuantitativos de la revisión de complicaciones y de estudios centrados en conservación sanguínea. Un protocolo prospectivo de manejo

hematológico que integró optimización preoperatoria, antifibrinolíticos y recuperación intraoperatoria de sangre redujo de forma significativa la pérdida estimada y los requerimientos transfusionales frente a una cohorte control, con 194 pacientes evaluados (33).

Tabla 2. Evidencia sobre hemorragia, transfusión y conservación sanguínea en cirugía de craneosinostosis

Fuente	Población / evidencia	Indicador	Resultado
Bashiry et al. (2025) (8)	33 manuscritos	Eventos globales	9,8 %; endoscópica 7,2 %; abierta 13,5 %
Bashiry et al. (2025) (8)	Síntesis de complicaciones	Transfusión por pérdida sanguínea	35,7 %
Moore et al. (2025) (33)	194 pacientes; protocolo vs control	Pérdida y transfusión	Reducción significativa de EBL y transfusión, $p<0,01$
Varidel y Marucci (2022) (34)	7 ensayos; 258 recibieron TXA	Pérdida sanguínea	Reducción 7,06 mL/kg (IC95% 5,15-8,97)
Varidel y Marucci (2022) (34)	Metaanálisis	Transfusión	Reducción 8,47 mL/kg (IC95% 6,04-10,90)
Zapata-Copete et al. (2022) (35)	11 estudios; 752 pacientes	Pérdida / transfusión	MD -15,47 / -8,18 mL/kg
Alabdulkarim et al. (2023) (36)	18 estudios; 1.564 operaciones	Sangrado perioperatorio	WMD -3,97 mL/kg (IC95% -5,29 a -2,28)

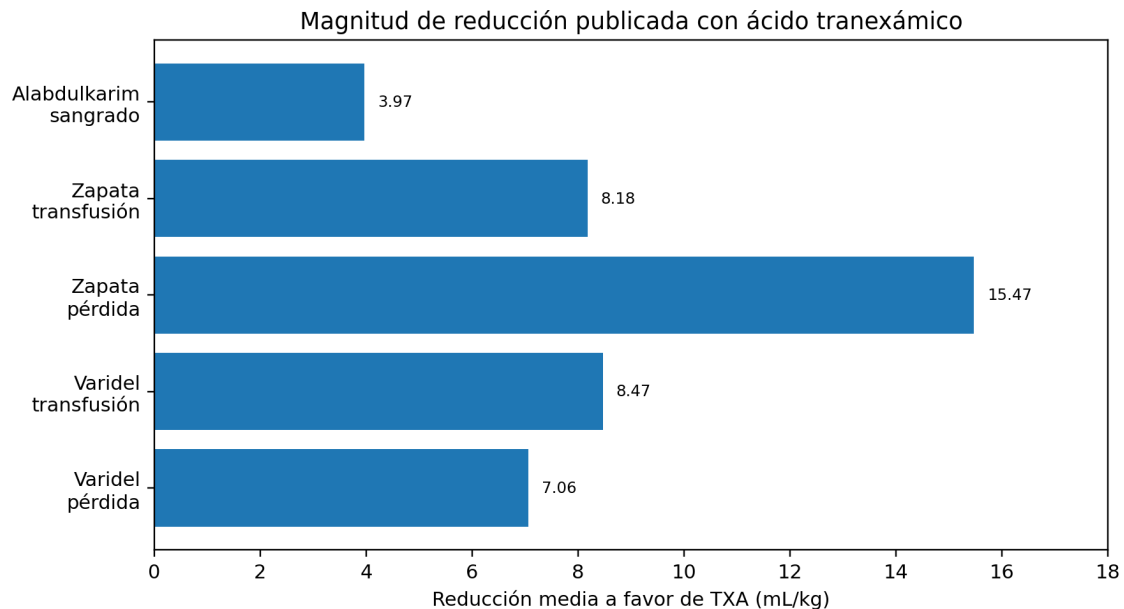
Fuente: elaboración a partir de Bashiry et al. (8), Moore et al. (33), Varidel y Marucci (34), Zapata-Copete et al. (35) y Alabdulkarim et al. (36). TXA: ácido tranexámico; EBL: pérdida sanguínea estimada; MD/WMD: diferencia media/diferencia media ponderada.

Los metaanálisis de ácido tranexámico fueron consistentes en la dirección del efecto, aunque difirieron en número de estudios, técnicas quirúrgicas, esquemas de dosis y forma de medir el sangrado. Varidel y Marucci identificaron una reducción media de pérdida sanguínea de 7,06 mL/kg y de transfusión de 8,47 mL/kg, Zapata-Copete et al. estimaron reducciones de 15,47 mL/kg y 8,18 mL/kg respectivamente, y Alabdulkarim et al. comunicaron una diferencia media ponderada de 3,97 mL/kg para sangrado (34-36).

La consistencia de los resultados apoya la utilidad del ácido tranexámico dentro de protocolos de conservación sanguínea, pero los intervalos y magnitudes no deben combinarse de nuevo porque cada metaanálisis utilizó criterios de inclusión y conjuntos de estudios distintos. El Gráfico 2 conserva las estimaciones originales como

reducciones absolutas a favor de la intervención, con una finalidad comparativa descriptiva.

Gráfico 2. Magnitud de reducción publicada con ácido tranexámico en craneosinostosis



Fuente: elaboración a partir de estimaciones publicadas por Varidel y Marucci (34), Zapata-Copete et al. (35) y Alabdulkarim et al. (36). Las barras representan metaanálisis independientes y no se combinaron entre sí.

El Gráfico 2 muestra que todas las estimaciones representadas favorecieron al ácido tranexámico, con reducciones publicadas entre 3,97 y 15,47 mL/kg según el desenlace y la revisión. La dispersión de magnitudes refleja heterogeneidad entre estudios y no invalida la dirección consistente del efecto; por el contrario, indica que la eficacia cuantitativa depende del procedimiento, la técnica anestésica, el protocolo transfusional y la forma de calcular la pérdida hemática.

En neuro-oncología, el riesgo se concentró en déficit neurológico, alteraciones del líquido cefalorraquídeo, reintervención, infección y complicaciones específicas de la fosa posterior. Las cohortes de diferentes países coincidieron en que la localización anatómica y el objetivo quirúrgico condicionan la morbilidad, aunque las tasas varían según el sistema de clasificación. La Tabla 3 integra esta evidencia y agrega la información del síndrome de mutismo cerebeloso como resultado funcional de especial relevancia pediátrica.

Tabla 3. Morbilidad neuro-oncológica y síndrome de mutismo cerebeloso posoperatorio

Estudio	Muestra	Desenlace	Hallazgo
Foster et al. (2021) (9)	477 procedimientos	Mortalidad / déficit 30 d	1,26 % / 8,39 %
Henriksen et al. (2024) (10)	473 procedimientos	Morbilidad global / significativa	66,0 % / 34,2 %
Sletvold et al. (2023) (11)	82 pacientes + RS	Indicadores 30 d	Reoperación 9,8 %; readmisión 14,6 %; SSI 3,7 %
Campbell et al. (2025) (12)	285 procedimientos	Eventos significativos	27,4 %; reoperación 11,6 %; SSI 2,8 %
Pettersson et al. (2022) (13)	28 estudios; 2.276 pacientes	pCMS - factores de riesgo	4.º ventrículo OR 12,84; tronco OR 4,28; vermis OR 5,44
Salman et al. (2026) (14)	61 estudios; 5.653 pacientes	pCMS - factores	Midline, meduloblastoma, pedúnculo superior y variables de resección
Horne et al. (2026) (15)	16 estudios; 252 pCMS vs 590 sin pCMS	Neurocognición	Peor velocidad de procesamiento, función psicomotora y ejecutiva

Fuente: elaboración a partir de estudios neuro-oncológicos y revisiones sistemáticas citadas (9-15). pCMS: síndrome de mutismo cerebeloso posoperatorio; SSI: infección del sitio quirúrgico; OR: odds ratio.

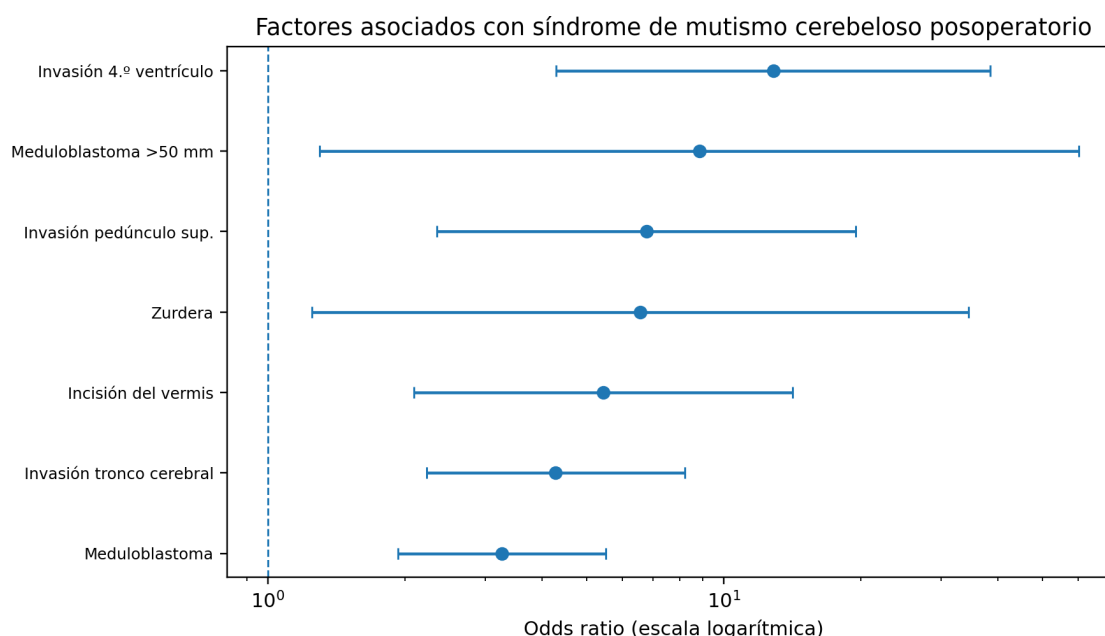
Los datos neuro-oncológicos muestran que la mortalidad a corto plazo puede ser baja al mismo tiempo que persiste una carga relevante de déficits, reoperaciones y trastornos del líquido cefalorraquídeo. Foster et al. registraron 1,26 % de mortalidad a 30 días, pero 8,39 % de déficit persistente; Henriksen et al. informaron 34,2 % de morbilidad significativa; y Campbell et al. identificaron eventos significativos en 27,4 % de las operaciones. Esto respalda el uso de indicadores multidimensionales.

El síndrome de mutismo cerebeloso representa un ejemplo de complicación en la que la magnitud no se describe adecuadamente con mortalidad o estancia hospitalaria. Los factores anatómicos publicados por Pettersson et al. muestran asociaciones de gran magnitud para invasión del cuarto ventrículo, pedúnculo cerebeloso superior, tronco cerebral e incisión del vermis, y la revisión de Salman et al. confirmó que la localización media y la biología tumoral siguen apareciendo de forma consistente en la literatura (13,14).

El Gráfico 3 reproduce los odds ratios combinados publicados por Pettersson et al. para factores seleccionados, conservando los intervalos de confianza originales. No se

efectuó un nuevo metaanálisis ni se añadieron pesos, por lo que la figura funciona como representación visual de una síntesis previamente publicada y permite observar tanto la dirección del riesgo como la incertidumbre de algunas estimaciones.

Gráfico 3. Factores asociados con síndrome de mutismo cerebeloso posoperatorio



Fuente: elaboración gráfica a partir de odds ratios e IC95% publicados por Pettersson et al. (13): invasión del cuarto ventrículo 12,84 (4,29-38,44), meduloblastoma >50 mm 8,85 (1,30-60,16), invasión del pedúnculo cerebeloso superior 6,77 (2,35-19,48), zurdera 6,57 (1,25-34,44), incisión del vermis 5,44 (2,09-14,16), invasión del tronco 4,28 (2,23-8,23) y meduloblastoma 3,26 (1,93-5,52).

La invasión del cuarto ventrículo presentó la estimación puntual más alta entre los factores representados, con OR 12,84, seguida por meduloblastoma mayor de 50 mm, invasión del pedúnculo cerebeloso superior, zurdera, incisión del vermis, invasión del tronco cerebral y diagnóstico de meduloblastoma. Los intervalos amplios en algunas variables indican imprecisión y desaconsejan interpretar la magnitud puntual como una predicción individual determinista.

La evidencia funcional complementa estas asociaciones anatómicas. Una revisión sobre perfusión cerebral y mutismo cerebeloso posoperatorio describió alteraciones en redes cerebelo-cerebrales relacionadas con la aparición del síndrome, mientras que revisiones de lenguaje y neurocognición han mostrado déficits persistentes que abarcan

procesamiento, funciones ejecutivas y comunicación, incluso después de la fase de mutismo evidente (37,38).

En hidrocefalia, las complicaciones se relacionaron principalmente con infección, obstrucción, fallo del dispositivo, sobredrenaje y necesidad de revisión. Los sistemas impregnados con antibióticos mostraron reducción de infección en metaanálisis, pero el beneficio tecnológico no sustituye la técnica estéril, el control de factores de riesgo y el seguimiento. La Tabla 4 integra resultados sobre infección y comparación de estrategias de derivación.

Tabla 4. Evidencia sobre infección, fallo de derivación y alternativas en hidrocefalia pediátrica

Fuente	Diseño / muestra	Resultado	Estimación
Konrad et al. (2023) (21)	Revisión clínica	Infección de shunt	Aproximadamente 5-15 %
Qiu y Wu (2020) (22)	13 estudios; 7.952 pacientes	Shunt impregnado vs convencional	RR 0,42 (IC95% 0,33-0,53)
Zhou et al. (2021) (23)	19 estudios; 10.105 operaciones	Infección	8,13 % convencional vs 4,09 % impregnado
Wathoni et al. (2025) (24)	Metaanálisis	Factores de infección	Edad temprana y comorbilidades entre factores asociados
Minta et al. (2024) (25)	RS/metaanálisis	Complicaciones ETV vs VPS	4,6 % vs 27,1 %
Castillo-Huerta et al. (2025) (26)	61 pacientes, Lima	Complicaciones a 1 año	24 eventos; infección 50 % de fallos

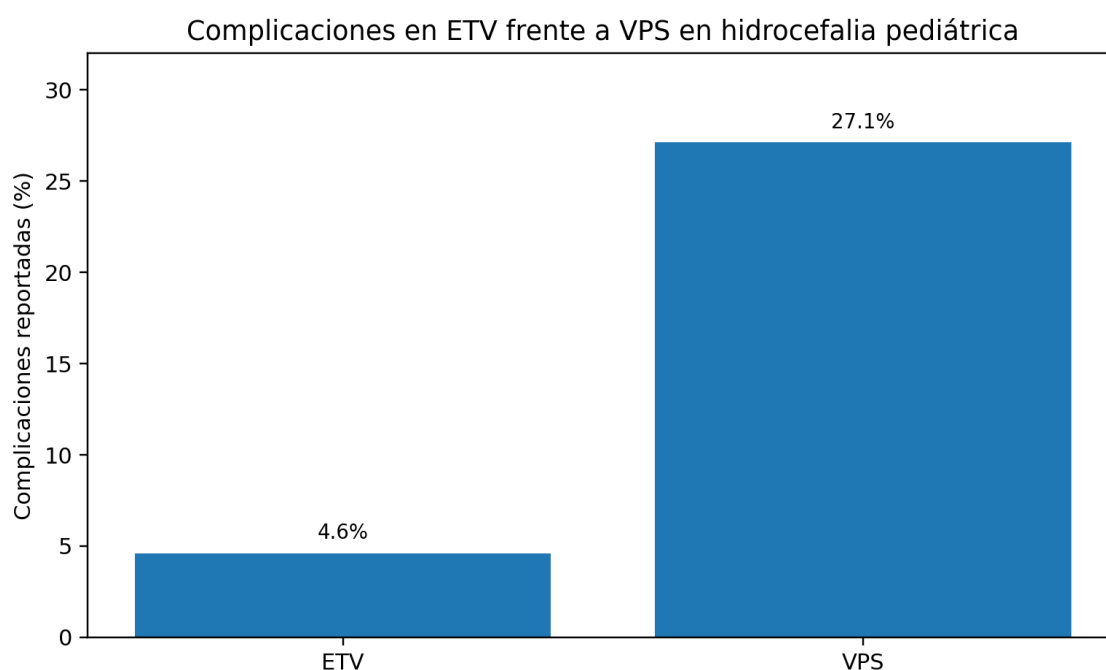
Fuente: elaboración a partir de Konrad et al. (21), Qiu y Wu (22), Zhou et al. (23), Wathoni et al. (24), Minta et al. (25) y Castillo-Huerta et al. (26). ETV: ventriculostomía endoscópica del tercer ventrículo; VPS: derivación ventriculoperitoneal.

La Tabla 4 muestra que el riesgo de infección de shunt permanece clínicamente relevante, con estimaciones generales de 5 % a 15 % en revisiones contemporáneas y reducciones significativas asociadas con catéteres impregnados con antibióticos. Qiu y Wu informaron RR 0,42 en población pediátrica, mientras que Zhou et al. describieron una reducción de 8,13 % a 4,09 % en una síntesis de operaciones de hidrocefalia, resultados que apuntan en la misma dirección pese a diferencias en población y diseño (22,23).

La experiencia de Lima mostró que la infección explicó 50 % de los fallos registrados durante el primer año después de una primera derivación ventriculoperitoneal, un hallazgo relevante para contextos de ingresos medios. Al comparar alternativas, el metaanálisis de Minta et al. reportó 4,6 % de complicaciones para ventriculostomía endoscópica del tercer ventrículo y 27,1 % para derivación ventriculoperitoneal dentro de los estudios incluidos, diferencia que debe interpretarse según selección etiológica y edad (25,26).

El Gráfico 4 representa la comparación publicada entre ventriculostomía endoscópica y derivación ventriculoperitoneal. La figura no implica que toda hidrocefalia deba tratarse mediante una misma técnica, porque la indicación de ventriculostomía depende de la etiología, la anatomía y la edad, pero sí evidencia que el tipo de intervención modifica el perfil de complicaciones y la dependencia posterior de un dispositivo.

Gráfico 4. Complicaciones en ventriculostomía endoscópica frente a derivación ventriculoperitoneal



Fuente: elaboración a partir de Minta et al. (25), revisión sistemática y metaanálisis de hidrocefalia pediátrica. ETV: ventriculostomía endoscópica del tercer ventrículo; VPS: derivación ventriculoperitoneal.

La diferencia mostrada en el Gráfico 4 favorece a la ventriculostomía endoscópica en la frecuencia global de complicaciones informada por la revisión utilizada, pero el

resultado no debe extrapolarse a etiologías no comparables. La selección adecuada puede reducir la exposición a fallos mecánicos e infección de derivaciones, mientras que una indicación inadecuada de ventriculostomía puede conducir a fracaso y necesidad de tratamiento adicional.

De manera transversal, los factores de riesgo identificados se agruparon en cinco dominios. En el paciente destacaron edad temprana, bajo peso, prematuridad, comorbilidades, anemia y deterioro neurológico previo; en la enfermedad, tumores vascularizados, lesiones de fosa posterior, hidrocefalia, epilepsia farmacorresistente y proximidad a áreas elocuentes; en la cirugía, duración, extensión, hemorragia, manipulación vascular, posición y reintervención; en anestesia, ventilación difícil, hipotensión, hipoxemia y embolia aérea; y en el entorno institucional, disponibilidad de especialistas, cuidados intensivos, protocolos y comunicación.

Los resultados sobre epilepsia reforzaron que la seguridad debe interpretarse junto con el beneficio funcional. Los lactantes intervenidos antes de los seis meses presentaron 27,7 % de complicaciones en una síntesis, pero también 65,6 % de libertad de crisis; en espasmos epilépticos la libertad de crisis fue cercana a 68,8 %. Estas cifras no justifican retrasar o adelantar una intervención de forma automática, sino que muestran la necesidad de individualizar el balance riesgo-beneficio en centros especializados (18,19).

La síntesis sobre anemia, hemorragia, infección y eventos anestésicos indica que una proporción importante de factores son potencialmente modificables mediante planificación. La optimización hematológica, el uso racional de antifibrinolíticos, la disponibilidad de hemoderivados, la profilaxis antimicrobiana, el control de temperatura y ventilación, la monitorización hemodinámica y neurofisiológica, y la vigilancia

posoperatoria estructurada constituyen medidas convergentes para disminuir la probabilidad de daño grave.

La diversidad de resultados también mostró un problema de calidad de la evidencia. Estudios de gran tamaño pueden utilizar definiciones administrativas, mientras que cohortes prospectivas pequeñas describen con mayor detalle el evento y su gravedad. Las revisiones sistemáticas dependen de esa heterogeneidad primaria y, aunque permiten identificar patrones, no eliminan la necesidad de registros prospectivos estandarizados que incluyan resultados neurológicos, funcionales y neurocognitivos a largo plazo.

Discusión

La evidencia integrada confirma que las complicaciones graves en cirugía neurológica pediátrica de alta complejidad son multifactoriales y específicas del procedimiento. No se identificó una única complicación dominante para toda la especialidad, porque la cirugía cerebrovascular y tumoral concentra lesión vascular y déficit neurológico, la craneosinostosis concentra hemorragia y transfusión, la hidrocefalia concentra infección y fallo del dispositivo, y la cirugía de epilepsia combina riesgos neurológicos con la expectativa de mejorar el control de crisis.

La frecuencia de 3,5 % de complicaciones intraoperatorias descrita en 1.807 procedimientos sigue siendo un punto de referencia importante, pero los datos prospectivos de 2025 aportan una lectura más amplia al incluir eventos relacionados con cirugía durante 30 días. La diferencia entre 3,5 % y 9,2 % no debe interpretarse como un aumento temporal del riesgo, porque las ventanas y definiciones son distintas; demuestra, en cambio, cómo la metodología de vigilancia modifica la detección (3,5).

La relación entre gravedad intraoperatoria y recuperación posoperatoria adquiere particular importancia con sistemas como ClassIntra. El aumento de tiempos quirúrgicos y la asociación entre eventos mayores, deterioro neurológico y readmisión observados prospectivamente sugieren que la documentación intraoperatoria puede funcionar como señal temprana para ajustar la intensidad de vigilancia después de la cirugía. Esta aproximación complementa los registros clásicos que catalogan únicamente el diagnóstico final de la complicación (6).

La edad apareció repetidamente como modificador de riesgo, aunque con mecanismos diferentes según el procedimiento. En cohortes generales, una mayor edad redujo la probabilidad de eventos adversos; en neuro-oncología, la menor edad se asoció con complicaciones de líquido cefalorraquídeo; y en hidrocefalia, los lactantes presentan mayor vulnerabilidad a infección de shunt. La explicación incluye menor reserva fisiológica, inmadurez inmunológica, menor volemia y características anatómicas que condicionan la técnica (5,10,24).

La anemia y la pérdida sanguínea son especialmente relevantes en lactantes porque una pérdida absoluta pequeña puede representar una fracción importante del volumen circulante. La evidencia de craneosinostosis muestra que la cirugía abierta se acompaña de mayor frecuencia de eventos que los abordajes endoscópicos, pero la decisión técnica depende de edad, tipo de sinostosis y objetivos reconstructivos. El hallazgo principal no es que una técnica sea universalmente superior, sino que el riesgo hemorrágico debe anticiparse de manera diferenciada (8).

Los metaanálisis de ácido tranexámico coinciden en una reducción de pérdida sanguínea y transfusión, aunque las magnitudes varían por heterogeneidad. La concordancia direccional entre Varidel, Zapata-Copete y Alabdulkarim fortalece la plausibilidad clínica del beneficio, mientras que el protocolo prospectivo de manejo sanguíneo de

Moore et al. muestra que el mayor efecto práctico puede obtenerse al integrar la farmacología con optimización de hemoglobina, recuperación de sangre y criterios transfusionales estandarizados (33-36).

La interpretación de estos resultados requiere evitar dos extremos. La presencia de evidencia favorable no autoriza a generalizar un esquema de dosis sin considerar edad, peso, riesgo trombótico, protocolo anestésico y características del centro; al mismo tiempo, la heterogeneidad no invalida una estrategia cuando múltiples síntesis muestran reducción consistente del sangrado. La aplicación clínica debe insertarse en protocolos institucionales y evaluación individual del riesgo.

En cirugía tumoral, la diferencia entre mortalidad y morbilidad demuestra por qué los indicadores de resultado deben ir más allá de la supervivencia. Foster et al. documentaron mortalidad baja pero déficit neurológico persistente en una proporción mayor, Henriksen et al. mostraron morbilidad significativa en aproximadamente un tercio de procedimientos y Campbell et al. confirmaron mediante vigilancia prospectiva una carga relevante de eventos significativos. Los tres estudios convergen en la necesidad de medir función y reintervención (9,10,12).

La localización infratentorial emergió como factor clínicamente consistente. La fosa posterior concentra núcleos, pedúnculos cerebelosos, pares craneales y vías largas en un espacio reducido, y la resección puede alterar circuitos cerebelo-tálamo-corticales. El vínculo entre invasión del cuarto ventrículo, pedúnculo cerebeloso superior, tronco cerebral e incisión del vermis con mutismo cerebeloso ofrece una explicación anatómica de por qué determinadas lesiones producen secuelas desproporcionadas respecto al tamaño de la resección (13,14).

La evidencia neurocognitiva reciente amplía el concepto de gravedad. El síndrome de mutismo cerebeloso no termina cuando reaparece el habla, porque pueden persistir

alteraciones ejecutivas, psicomotoras y de velocidad de procesamiento. Los estudios de perfusión y las revisiones de lenguaje sugieren que el daño funcional involucra redes distribuidas, por lo que el seguimiento debe incluir neuropsicología, lenguaje, desempeño escolar y participación social, no solamente examen motor y control radiológico (15,37,38).

La heterogeneidad de las escalas en cirugía de epilepsia plantea un problema semejante. La libertad de crisis se informa casi universalmente, mientras que la calidad de vida y los resultados neuropsicológicos aparecen con menor frecuencia y mediante múltiples instrumentos. Una cirugía puede reducir de forma importante la carga epiléptica y, al mismo tiempo, producir o revelar déficits que requieren rehabilitación; por ello, la evaluación integral debe considerar control de crisis, desarrollo, cognición, conducta, medicación y complicaciones (16,17).

Los resultados de cirugía temprana de epilepsia ilustran un balance clínico complejo. En lactantes muy pequeños la tasa de complicaciones no es trivial, pero la posibilidad de controlar crisis en una etapa crítica del neurodesarrollo puede ofrecer beneficios sustanciales. Los metaanálisis sobre espasmos y cirugía en los primeros meses apoyan la derivación temprana a centros especializados cuando existe una lesión resecable o una indicación bien establecida, sin confundir rapidez diagnóstica con precipitación quirúrgica (18-20).

La hidrocefalia muestra cómo un tratamiento efectivo puede introducir una nueva categoría de riesgo crónico. La derivación ventriculoperitoneal controla la presión y permite supervivencia y desarrollo, pero crea dependencia de un sistema susceptible a infección, obstrucción, migración y sobredrenaje. Los datos de infección entre 5 % y 15 % y la experiencia latinoamericana con infección como principal causa de fallo

muestran que la prevención debe mantenerse durante todo el proceso, desde la implantación hasta el reconocimiento temprano de síntomas (21,26).

Los catéteres impregnados con antibióticos constituyen una intervención preventiva con respaldo metaanalítico, pero el efecto no debe interpretarse como sustituto de la técnica estéril. La reducción relativa observada por Qiu y Wu y por Zhou et al. resulta coherente con una disminución de colonización inicial, mientras que los factores de riesgo identificados en estudios observacionales muestran que la vulnerabilidad del paciente y las condiciones perioperatorias siguen influyendo en la aparición de infección (22-24).

La comparación entre ventriculostomía endoscópica y derivación ventriculoperitoneal introduce además la necesidad de seleccionar el tratamiento de acuerdo con etiología. La menor proporción de complicaciones informada para ventriculostomía en la revisión de Minta et al. es relevante, pero la técnica no es aplicable a toda hidrocefalia. La indicación adecuada requiere valorar edad, anatomía, causa de obstrucción, experiencia endoscópica y probabilidad de fracaso, evitando convertir una diferencia agregada en una regla universal (25).

La carga de infección no relacionada con shunts confirma que la seguridad infecciosa atraviesa toda la neurocirugía pediátrica. Aunque la tasa de 2,7 % puede parecer menor que otras formas de morbilidad, las infecciones profundas producen reingresos, sepsis y reintervenciones, por lo que su prevención tiene impacto clínico y económico desproporcionado. El ajuste por factores de riesgo es esencial para comparar resultados institucionales de manera justa (27,28).

Las complicaciones anestésicas y relacionadas con la posición merecen una lectura integrada con la cirugía. La posición sentada facilita determinados accesos a la fosa posterior, pero puede acompañarse de cambios hemodinámicos y embolia aérea; la posición park-bench tampoco elimina la posibilidad de eventos. Los datos disponibles,

incluidos estudios con muestras pequeñas, respaldan la selección individualizada y la monitorización de retorno venoso, presión arterial, ventilación, temperatura y signos de embolia (7).

La prevención efectiva, por tanto, tiene naturaleza multimodal. Antes de la cirugía se requiere identificar anemia, trastornos de coagulación, vía aérea compleja, comorbilidades y riesgo de sangrado; durante el procedimiento se necesita comunicación, disponibilidad de sangre, monitorización fisiológica y neurofisiológica cuando está indicada, control de temperatura y respuesta rápida ante lesión vascular; después de la cirugía se requiere evaluación neurológica seriada, vigilancia respiratoria, balance hídrico y detección de hipertensión intracraneal.

Las listas de verificación quirúrgica aportan un marco de comunicación que puede disminuir omisiones en entornos de alta complejidad. Su utilidad no radica en convertir la seguridad en una secuencia burocrática, sino en asegurar que identidad, procedimiento, disponibilidad de recursos, profilaxis, riesgo hemorrágico y planes de contingencia sean compartidos por el equipo antes de puntos irreversibles. La adaptación a neurocirugía pediátrica debe incorporar necesidades específicas de neuroanestesia y cuidados intensivos (30).

La estandarización de definiciones es una prioridad porque la variación terminológica afecta investigación, auditoría y comunicación clínica. El consenso pediátrico y los trabajos recientes sobre indicadores de calidad muestran que el mismo evento puede clasificarse de forma distinta entre instituciones, lo que dificulta establecer umbrales de desempeño. Un registro multicéntrico útil debería combinar definiciones consensuadas, gravedad, temporalidad, relación causal, reintervención, discapacidad y recuperación funcional (2,11).

La fortaleza principal de la evidencia integrada radica en combinar grandes cohortes, registros nacionales, estudios prospectivos y metaanálisis específicos. Esta triangulación permite reconocer patrones que se repiten en diseños diferentes: mayor vulnerabilidad de edades tempranas, importancia de la localización anatómica, impacto del sangrado, papel de la infección y necesidad de seguimiento funcional. La consistencia cualitativa aumenta la confianza en esos patrones incluso cuando no puede calcularse un efecto global.

La principal limitación corresponde a la heterogeneidad clínica y metodológica. La agregación conceptual incluye tumores, craneosinostosis, hidrocefalia, epilepsia, cirugía vascular y procedimientos de fosa posterior, cada uno con mecanismos de riesgo diferentes. Además, una proporción importante de la literatura sigue siendo retrospectiva o unicéntrica, y las ventanas de seguimiento varían desde el intraoperatorio hasta 30 días, un año o evaluaciones neurocognitivas de largo plazo.

Otra limitación procede de la imposibilidad de reconstruir retrospectivamente, con trazabilidad completa, los conteos de identificación, duplicación y exclusión de todas las bases originalmente proyectadas en el documento base. Para preservar integridad metodológica se evitó atribuir números de flujo no documentados y se utilizó PRISMA 2020 como marco de reporte de la síntesis y de la actualización verificable, sin fabricar un diagrama cuantitativo. Esta decisión reduce apariencia de exhaustividad, pero aumenta la transparencia.

También debe considerarse que algunos resultados cuantitativos proceden de metaanálisis que comparten estudios primarios, por lo que no representan observaciones independientes. Esta situación es especialmente relevante para ácido tranexámico, catéteres impregnados y cirugía de epilepsia. Por ello, los gráficos presentados no

combinaron nuevamente efectos ni calcularon promedios entre revisiones, y se conservaron las estimaciones originales como información descriptiva.

La comparación internacional evidencia además diferencias en recursos y trayectorias asistenciales. Revisiones recientes sobre hidrocefalia pediátrica en África y Asia muestran variaciones de etiología, acceso, estrategia de tratamiento y resultados, lo que limita la transferencia automática de cifras provenientes de centros de altos ingresos. La experiencia de Lima refuerza la importancia de producir datos latinoamericanos y de evaluar prevención de infección dentro de las condiciones reales de cada sistema sanitario (39,40).

En el contexto latinoamericano, la disponibilidad de neurocirugía pediátrica especializada, cuidados intensivos, hemoderivados, neuroimagen avanzada y seguimiento rehabilitador puede ser heterogénea. La aplicación de evidencia internacional debe acompañarse de registros locales que permitan identificar barreras, tiempos de derivación, disponibilidad de insumos y resultados funcionales. Esta necesidad no modifica el tema central de la revisión, sino que define una línea de investigación para adaptar la seguridad a contextos concretos.

La novedad de la síntesis consiste en organizar las complicaciones graves por mecanismo y procedimiento, manteniendo simultáneamente una visión de proceso continuo. El riesgo comienza antes de la incisión con condiciones del paciente y de la enfermedad, se expresa durante la intervención mediante sangrado, lesión vascular o inestabilidad, continúa después con edema, déficit, infección o crisis, y puede prolongarse mediante secuelas neurocognitivas. Esta continuidad permite diseñar prevención en varios puntos y no solamente responder al evento final.

Las futuras investigaciones deberían priorizar cohortes prospectivas multicéntricas con definiciones estandarizadas y seguimiento suficiente para distinguir déficits transitorios

de secuelas persistentes. Se requiere además incorporar resultados reportados por pacientes y familias, medidas de función neurocognitiva, calidad de vida, reintegración escolar y carga de reintervención. La integración de estos indicadores permitiría evaluar con mayor precisión el costo clínico real de una complicación y la efectividad de los programas de mejora.

La investigación futura también debería evaluar modelos de predicción específicos por procedimiento, evitando algoritmos que mezclen riesgos no equivalentes. En craneosinostosis serían prioritarios edad, peso, hemoglobina y técnica; en tumores, localización, volumen y relación con estructuras críticas; en hidrocefalia, edad, etiología y antecedentes infecciosos; en cirugía de epilepsia, extensión, etiología y edad. Los modelos solo serían útiles si se validan externamente y se integran con juicio clínico.

En conjunto, los hallazgos respaldan una concepción de seguridad basada en especialización, anticipación y medición. La tecnología quirúrgica por sí sola no elimina el riesgo, pero puede disminuirlo cuando se integra con experiencia pediátrica, protocolos de sangre, prevención de infección, monitorización y cuidados intensivos. Del mismo modo, una tasa baja de mortalidad no debe interpretarse como ausencia de daño si persisten déficits neurológicos, reintervenciones o alteraciones neurocognitivas de largo plazo.

Conclusiones

La evidencia analizada permitió establecer que las complicaciones graves en cirugía neurológica pediátrica de alta complejidad constituyen un fenómeno multifactorial cuyo perfil cambia según la enfermedad, la anatomía y el procedimiento. La hemorragia, la lesión vascular, la isquemia, el edema, la hipertensión intracraneal, los nuevos déficits neurológicos, las crisis convulsivas, el mutismo cerebeloso, las alteraciones

respiratorias y cardiovasculares, la infección y la reintervención concentran la mayor relevancia clínica.

El objetivo general se respondió al demostrar que no existe una tasa única representativa de toda neurocirugía pediátrica. Los procedimientos cerebrovasculares y tumorales presentan especial vulnerabilidad a lesión vascular y déficit neurológico, la craneosinostosis mantiene un componente hemorrágico y transfusional destacado, la fosa posterior incorpora el riesgo de mutismo cerebeloso y secuelas neurocognitivas, y la hidrocefalia concentra infección y fallo de dispositivos, mientras que la cirugía de epilepsia exige balancear complicaciones frente al beneficio de controlar crisis.

Los factores asociados con mayor riesgo incluyen edad temprana, bajo peso, comorbilidades, anemia, complejidad anatómica, localización infratentorial, proximidad a estructuras elocuentes, cirugía prolongada, pérdida sanguínea, manipulación vascular, determinadas posiciones y necesidad de reintervención. La interacción entre factores del paciente, de la enfermedad, quirúrgicos, anestésicos e institucionales explica por qué el riesgo no puede atribuirse a una sola variable y requiere evaluación multidisciplinaria.

La prevención debe comenzar antes de la cirugía mediante optimización hematológica, planificación de vía aérea, disponibilidad de hemoderivados y anticipación de complicaciones, continuar durante el procedimiento con neuroanestesia especializada, monitorización, técnica microquirúrgica, manejo racional de antifibrinolíticos y comunicación del equipo, y mantenerse después mediante vigilancia neurológica, respiratoria y hemodinámica. Los beneficios del ácido tranexámico y de los shunts impregnados con antibióticos deben integrarse en estrategias multimodales y no sustituir las medidas básicas de seguridad.

La estandarización de definiciones y resultados constituye un requisito para mejorar la comparación entre centros. La mortalidad aislada es insuficiente, por lo que los registros

deberían incorporar gravedad de la complicación, reintervención, readmisión, déficit persistente, función neurocognitiva y calidad de vida. La utilización de indicadores comparables permitiría identificar oportunidades de mejora y evaluar intervenciones preventivas con mayor validez clínica.

El principal aporte de la revisión consiste en integrar la seguridad como un proceso continuo que comienza en la evaluación preoperatoria y se extiende hasta la recuperación neurológica y funcional de largo plazo. El desarrollo de registros multicéntricos prospectivos, la validación de modelos de riesgo específicos por procedimiento y la generación de evidencia latinoamericana permitirán precisar factores modificables y orientar programas de mejora adaptados a la realidad de cada sistema de salud.

Referencias Bibliográficas

1. World Health Organization. Global patient safety action plan 2021-2030: towards eliminating avoidable harm in health care. Geneva: World Health Organization; 2021.
2. Drake JM, Singhal A, Kulkarni AV, deVeber G, Cochrane DD; Canadian Pediatric Neurosurgery Study Group. Consensus definitions of complications for accurate recording and comparisons of surgical outcomes in pediatric neurosurgery. *J Neurosurg Pediatr.* 2012;10(2):89-95. doi:10.3171/2012.3.PEDS11233.
3. van Lindert EJ, Arts S, Blok LM, Hendriks MP, Tielens L, van Bilsen M, et al. Intraoperative complications in pediatric neurosurgery: review of 1807 cases. *J Neurosurg Pediatr.* 2016;18(3):363-371. doi:10.3171/2016.3.PEDS15679.
4. Kuo BJ, Vissoci JRN, Egger JR, Smith ER, Grant GA, Haglund MM, et al. Perioperative outcomes for pediatric neurosurgical procedures: analysis of the National Surgical Quality Improvement Program-Pediatrics. *J Neurosurg Pediatr.* 2017;19(3):361-371. doi:10.3171/2016.10.PEDS16414.
5. Lenga P, Issa M, Abushamsieh H, Zittel S, Engel M, Scherer M, et al. Prospective insights into pediatric neurosurgery: transforming care through adverse event analysis. *J Neurosurg Pediatr.* 2025;36(3):369-378. doi:10.3171/2025.2.PEDS24508.
6. Middelkamp M, Drexler R, Groth FS, Sauvigny T, Ricklefs FL, Kammler G, et al. Evaluation of intraoperative adverse events and perioperative outcomes in pediatric neurosurgery. *World Neurosurg.* 2025;203:124434. doi:10.1016/j.wneu.2025.124434.
7. Radu OM, Balaci GM, Leucuta DC, Florian IS. Exploring anesthesia-related complications in pediatric neurosurgery: a comparative analysis of the sitting

and park-bench positions. *Med Pharm Rep.* 2024;97(4):540-548.

doi:10.15386/mpr-2788.

8. Bashiryan BA, Satanin LA, Gadzhieva OA, Danilov GV, Strunina YV, Kokaeva IK, et al. Perioperative complications in surgery for craniosynostosis in children: a systematic review and meta-analysis. *Zh Vopr Neurokhir Im N N Burdenko.* 2025;89(3):114-121. doi:10.17116/neiro202589031114.
9. Foster MT, Hennigan D, Grayston R, van Baarsen K, Sunderland G, Millward CP, et al. Reporting morbidity associated with pediatric brain tumor surgery: are the available scoring systems sufficient? *J Neurosurg Pediatr.* 2021;27(5):556-565. doi:10.3171/2020.9.PEDS20556.
10. Henriksen KA, Brix N, Jakubauskaite R, von Oettingen G, Rathe M, Skjoth-Rasmussen J, et al. Thirty-day surgical morbidity and risk factors in pediatric brain tumor surgery: a 10-year nationwide retrospective study. *J Neurosurg Pediatr.* 2024;33(2):165-173. doi:10.3171/2023.9.PEDS23351.
11. Sletvold TP, Boland S, Schipmann S, Mahesparan R. Quality indicators for evaluating the 30-day postoperative outcome in pediatric brain tumor surgery: a 10-year single-center study and systematic review of the literature. *J Neurosurg Pediatr.* 2023;31(2):109-123. doi:10.3171/2022.10.PEDS22308.
12. Campbell E, Todd L, Amato-Watkins A, O'Kane R, Sangra M, Canty M. Prospective review of 30-day morbidity and mortality following surgery for brain tumours in children. *Childs Nerv Syst.* 2025;41(1):162. doi:10.1007/s00381-025-06817-1.
13. Pettersson SD, Kitlinski M, Miekisiak G, Ali S, Krakowiak M, Szmuda T. Risk factors for postoperative cerebellar mutism syndrome in pediatric patients: a

- systematic review and meta-analysis. *J Neurosurg Pediatr.* 2022;29(4):467-475.
doi:10.3171/2021.11.PEDS21445.
14. Salman A, Fahim MAA, Sohail A, Bashir HH, Haizel-Cobbina J, Dewan MC, et al.
Pre-operative and intra-operative risk factors of post-operative cerebellar mutism
syndrome in pediatric patients undergoing posterior fossa tumor surgery: a
systematic review. *Childs Nerv Syst.* 2026;42(1):36.
doi:10.1007/s00381-025-07109-4.
15. Horne BM, Attanayake AA, Aquilina K, Murphy T, Malcolm CP. Neurocognitive
outcomes following postoperative paediatric cerebellar mutism syndrome: a
systematic review. *Dev Med Child Neurol.* 2026;68(1):29-48.
doi:10.1111/dmcn.16483.
16. Chisolm PF, Warner JD, Hale AT, Estevez-Ordonez D, Murdaugh D, Rozzelle CJ, et
al. Quantifying and reporting outcome measures in pediatric epilepsy surgery: a
systematic review. *Epilepsia.* 2022;63(11):2754-2781. doi:10.1111/epi.17369.
17. Romanowski EF, McNamara N. Surgery for intractable epilepsy in pediatrics, a
systematic review of outcomes other than seizure freedom. *Semin Pediatr
Neurol.* 2021;39:100928. doi:10.1016/j.spen.2021.100928.
18. Kolosky T, Goldstein Shipper A, Sun K, Tozduman B, Bentzen S, Moosa AN, et al.
Epilepsy surgery for children with epileptic spasms: a systematic review and
meta-analysis with focus on predictors and outcomes. *Epilepsia Open.*
2024;9(4):1136-1147. doi:10.1002/epi4.13007.
19. Makridis KL, Atalay DA, Thomale UW, Tietze A, Elger CE, Kaindl AM. Epilepsy
surgery in the first six months of life: a systematic review and meta-analysis.
Seizure. 2022;96:109-117. doi:10.1016/j.seizure.2022.02.009.

20. Frank NA, Greuter L, Guzman R, Soleman J. Early surgical approaches in pediatric epilepsy - a systematic review and meta-analysis. *Childs Nerv Syst.* 2023;39(3):677-688. doi:10.1007/s00381-022-05699-x.
21. Konrad E, Robinson JL, Hawkes MT. Cerebrospinal fluid shunt infections in children. *Arch Dis Child.* 2023;108(9):693-697. doi:10.1136/archdischild-2022-324559.
22. Qiu Y, Wu Y. Efficacy of antibiotic-impregnated shunt versus conventional shunts to reduce cerebrospinal fluid infections in children: a systematic review and meta-analysis. *Exp Ther Med.* 2020;20(4):3775-3781. doi:10.3892/etm.2020.9122.
23. Zhou WX, Hou WB, Zhou C, Yin YX, Lu ST, Liu G, et al. Systematic review and meta-analysis of antibiotic-impregnated shunt catheters on anti-infective effect of hydrocephalus shunt. *J Korean Neurosurg Soc.* 2021;64(2):297-308. doi:10.3340/jkns.2019.0219.
24. Wathoni RTZ, Suryaningtyas W, Utomo B, Parenrengi MA, Turchan A, Fauzi AA. Risk factors for cerebrospinal fluid shunt infection in pediatrics: a meta-analysis. *Surg Neurol Int.* 2025;16:16. doi:10.25259/SNI_848_2024.
25. Minta KJ, Kannan S, Kaliaperumal C. Outcomes of endoscopic third ventriculostomy and ventriculoperitoneal shunt in the treatment of paediatric hydrocephalus: systematic review and meta-analysis. *Childs Nerv Syst.* 2024;40(4):1045-1052. doi:10.1007/s00381-023-06225-3.
26. Castillo-Huerta NM, Torres-Garcia ON, Vargas Aymituma A. Postoperative complications of ventriculoperitoneal shunt in children: experience from a middle-income referral hospital in Lima, Peru. *Childs Nerv Syst.* 2025;41(1):342. doi:10.1007/s00381-025-06971-6.

27. Sherrod BA, Rocque BG. Morbidity associated with 30-day surgical site infection following nonshunt pediatric neurosurgery. *J Neurosurg Pediatr.* 2017;19(4):421-427. doi:10.3171/2016.11.PEDS16455.
28. Sherrod BA, Arynchyna AA, Johnston JM, Rozzelle CJ, Blount JP, Oakes WJ, et al. Risk factors for surgical site infection following nonshunt pediatric neurosurgery: a review of 9296 procedures from a national database and comparison with a single-center experience. *J Neurosurg Pediatr.* 2017;19(4):407-420. doi:10.3171/2016.11.PEDS16454.
29. Naik S, Nirale A, Bharadwaj S, Sangeetha RP, Shukla D, Kamath S. Post-operative anemia in children undergoing elective neurosurgery: an analysis of incidence, risk factors, and outcomes. *J Neurosci Rural Pract.* 2024;15(1):29-33. doi:10.25259/JNRP_338_2023.
30. World Health Organization. Implementation manual WHO surgical safety checklist 2009: safe surgery saves lives. Geneva: World Health Organization; 2009.
31. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ.* 2021;372:n71. doi:10.1136/bmj.n71.
32. Page MJ, Moher D, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ.* 2021;372:n160. doi:10.1136/bmj.n160.
33. Moore R, Pfershy H, Pletcher J, Boville B, Girotto JA, Carlson AR. Effective pediatric blood management in craniosynostosis surgery: a long-term update. *J Craniofac Surg.* 2025;36(1):111-114. doi:10.1097/SCS.00000000000010682.

34. Varidel A, Marucci D. Tranexamic acid in craniostygnosis surgery: a systematic review and meta-analysis. *J Craniofac Surg.* 2022;33(1):146-150.
doi:10.1097/SCS.00000000000008123.
35. Zapata-Copete JA, Gomez-Ospina JC, Garcia-Perdomo HA, Caycedo DJ. Role of tranexamic acid in craniostygnosis surgery: systematic review and meta-analysis. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2022;75(4):1389-1398.
doi:10.1016/j.bjps.2021.11.064.
36. Alabdulkarim A, Al Qurashi AA, Odeh NB, Hashemi ASA, Arbili LM, AlSwealh MS, et al. Effect of tranexamic acid on the reduction of blood loss in craniostygnosis surgery: a systematic review and meta-analysis. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2023;11(6):e5021. doi:10.1097/GOX.00000000000005021.
37. Ahmadian N, van Baarsen KM, Robe PAJT, Hoving EW. Association between cerebral perfusion and paediatric postoperative cerebellar mutism syndrome after posterior fossa surgery - a systematic review. *Childs Nerv Syst.* 2021;37(9):2743-2751. doi:10.1007/s00381-021-05225-5.
38. Svaldi C, Ntemou E, Jonkers R, Kohnen S, de Aguiar V. Language outcomes in children who underwent surgery for the removal of a posterior fossa tumor: a systematic review. *Eur J Paediatr Neurol.* 2024;48:129-141.
doi:10.1016/j.ejpn.2023.12.005.
39. Darko K, Guirguis M, Kakulamarrri S, Farid M, Venkatesh P, Osei Adjei EK, et al. Presentation, management, and outcomes of pediatric hydrocephalus in Africa: a systematic review and meta-analysis of 12,355 patients. *J Neurosurg Pediatr.* 2024;34(4):315-327. doi:10.3171/2024.5.PEDS23595.

40. Ferris E, Kynaston J, Dalle DU, Ng YJ, Leahy P, Hassan U, et al. The etiology of pediatric hydrocephalus across Asia: a systematic review and meta-analysis. *J Neurosurg Pediatr.* 2024;33(4):323-333. doi:10.3171/2023.11.PEDS23389.