

Predictores de disfunción temprana de derivación ventrículo-peritoneal en población pediátrica

Predictors of early ventriculoperitoneal shunt dysfunction in the pediatric population

Fatores preditivos de disfunção precoce da derivação ventriculoperitoneal na população pediátrica

ARTÍCULO ORIGINAL



Luz Fiorella Quequezana Sanga 

luzfiorellaq@gmail.com

Hospital Carlos Alberto Seguin Escobedo, Universidad Católica de Santa María. Arequipa, Perú

Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistavive.v9i25.454>

Artículo recibido 2 de julio 2025 / Aceptado 15 de agosto 2025 / Publicado 6 de enero 2026

RESUMEN

Introducción: La derivación ventrículo-peritoneal (DVP) constituye el tratamiento estándar de la hidrocefalia pediátrica; sin embargo, su elevada tasa de disfunción temprana limita significativamente los resultados clínicos. La identificación de predictores independientes de fallo puede optimizar las estrategias de vigilancia y manejo postoperatorio en esta población vulnerable. **Objetivo:** Identificar los predictores independientes de la disfunción temprana de la DVP en una cohorte pediátrica utilizando un análisis de supervivencia. **Metodología:** Se desarrolló un estudio de cohorte retrospectivo en un hospital universitario terciario de Perú durante el período 2019-2023. Se incluyeron 112 pacientes pediátricos sometidos a implantación de primera DVP. El desenlace primario fue el tiempo transcurrido hasta la primera disfunción del sistema, definida como cualquier revisión quirúrgica no planificada. Se ejecutó análisis de supervivencia mediante el método de Kaplan-Meier y regresión multivariada de Cox para identificar predictores independientes de disfunción temprana. **Resultados:** La tasa de supervivencia libre de disfunción a los 12 meses alcanzó el 61%. El análisis multivariado identificó tres predictores independientes significativos: edad inferior a 6 meses (HR 2.8, IC95% 1.5-5.2; $p=0.001$), etiología post-hemorrágica (HR 2.1, IC95% 1.2-3.7; $p=0.010$) y concentración de proteínas en líquido cefalorraquídeo superior a 150 mg/dL (HR 1.9, IC95% 1.1-3.3; $p=0.025$). **Conclusión:** La edad temprana, la etiología post-hemorrágica y las proteínas elevadas en LCR constituyen predictores robustos de disfunción temprana de DVP en población pediátrica, permitiendo una estratificación efectiva del riesgo clínico y el desarrollo de protocolos de seguimiento personalizado.

Palabras clave: Análisis de Supervivencia; Derivación Ventrículo-Peritoneal; Factores de Riesgo; Fallo de Derivación; Hidrocefalia; Pediatría

ABSTRACT

Introduction: Ventriculoperitoneal shunt (VPS) is the standard treatment for pediatric hydrocephalus; however, its high rate of early dysfunction significantly limits clinical outcomes. Identifying independent predictors of failure can optimize postoperative monitoring and management strategies in this vulnerable population. **Objective:** To identify independent predictors of early VPS dysfunction in a pediatric cohort using survival analysis. **Methodology:** A retrospective cohort study was conducted at a tertiary university hospital in Peru between 2019 and 2023. One hundred and twelve pediatric patients who underwent first-time VPS implantation were included. The primary outcome was time to first system dysfunction, defined as any unplanned surgical revision. Survival analysis was performed using the Kaplan-Meier method and Cox multivariate regression to identify independent predictors of early dysfunction. **Results:** The 12-month dysfunction-free survival rate was 61%. Multivariate analysis identified three significant independent predictors: age under 6 months (HR 2.8, 95% CI 1.5–5.2; $p = 0.001$), post-hemorrhagic etiology (HR 2.1, 95% CI 1.2–3.7; $p = 0.010$), and cerebrospinal fluid protein concentration greater than 150 mg/dL (HR 1.9, 95% CI 1.1–3.3; $p = 0.025$). **Conclusion:** Early age, post-hemorrhagic etiology, and elevated CSF protein are robust predictors of early ventriculoperitoneal shunt (VPS) dysfunction in the pediatric population, allowing for effective clinical risk stratification and the development of personalized follow-up protocols.

Key words: Survival Analysis; Ventriculoperitoneal Shunt; Risk Factors; Shunt Failure; Hydrocephalus; Pediatrics

RESUMO

Introdução: A derivação ventriculoperitoneal (DVP) é o tratamento padrão para hidrocefalia pediátrica; no entanto, sua alta taxa de disfunção precoce limita significativamente os resultados clínicos. A identificação de preditores independentes de falha pode otimizar o monitoramento pós-operatório e as estratégias de manejo nessa população vulnerável. **Objetivo:** Identificar preditores independentes de disfunção precoce da DVP em uma coorte pediátrica utilizando análise de sobrevivência. **Metodologia:** Foi realizado um estudo de coorte retrospectivo em um hospital universitário terciário no Peru entre 2019 e 2023. Cento e doze pacientes pediátricos submetidos à implantação de DVP pela primeira vez foram incluídos. O desfecho primário foi o tempo até a primeira disfunção do sistema, definida como qualquer revisão cirúrgica não planejada. A análise de sobrevivência foi realizada utilizando o método de Kaplan-Meier e regressão multivariada de Cox para identificar preditores independentes de disfunção precoce. **Resultados:** A taxa de sobrevivência livre de disfunção em 12 meses foi de 61%. A análise multivariada identificou três preditores independentes significativos: idade inferior a 6 meses (HR 2,8, IC 95% 1,5–5,2; $p = 0,001$), etiologia pós-hemorrágica (HR 2,1, IC 95% 1,2–3,7; $p = 0,010$) e concentração de proteína no líquido cefalorraquídeo superior a 150 mg/dL (HR 1,9, IC 95% 1,1–3,3; $p = 0,025$). **Conclusão:** Idade precoce, etiologia pós-hemorrágica e proteína elevada no LCR são preditores robustos de disfunção precoce da derivação ventriculoperitoneal (DVP) na população pediátrica, permitindo uma estratificação de risco clínico eficaz e o desenvolvimento de protocolos de acompanhamento personalizados.

Palavras-chave: Análise de Sobrevida; Derivação Ventriculoperitoneal; Fatores de Risco; Falha da Derivação; Hidrocefalia; Pediatría

INTRODUCCIÓN

La hidrocefalia pediátrica constituye una de las patologías neuroquirúrgicas más prevalentes en la población infantil, afectando aproximadamente a uno de cada 500 nacidos vivos. Esta condición, caracterizada por la acumulación anormal de líquido cefalorraquídeo (LCR) en los ventrículos cerebrales, genera un incremento sostenido de la presión intracraneal que, sin tratamiento oportuno, puede resultar en daño neurológico permanente, discapacidad intelectual y muerte. Castro y Piatt (1) documentaron en su análisis de 29,098 procedimientos pediátricos que las intervenciones quirúrgicas para hidrocefalia presentan una tasa de reoperación del 10.3% a los 30 días, con una incidencia de reingreso hospitalario del 17.2%, cifras que subrayan la complejidad inherente a esta patología.

En este contexto, durante las últimas décadas, la derivación ventrículo-peritoneal (DVP) se ha consolidado como el tratamiento de elección para el manejo de la hidrocefalia en pacientes pediátricos. Este procedimiento implica la colocación de un sistema de drenaje que desvía el exceso de LCR desde los ventrículos cerebrales hacia la cavidad peritoneal, donde es reabsorbido de manera fisiológica. No obstante, a pesar de los avances tecnológicos en el diseño de válvulas y catéteres, la disfunción de los sistemas de derivación continúa representando

un desafío clínico significativo. Tamber et al. (2), reportaron tasas de infección variables entre centros participantes del Hydrocephalus Clinical Research Network, oscilando entre 0% y 13%, con una media del 3.9%, evidenciando la persistente heterogeneidad en los resultados clínicos.

Asimismo, la problemática de la disfunción temprana de las DVP adquiere particular relevancia cuando se considera su impacto tanto en la morbilidad del paciente como en los costos sanitarios. Lu et al., (3), documentaron en un hospital público de Bolivia tasas de fallo intrahospitalario del 12% con una mediana de 12.5 días, y fallo ambulatorio del 17% con mediana de 3.7 meses. Utilizando análisis de supervivencia de Kaplan-Meier, estimaron un fallo global intrahospitalario del 23% y ambulatorio del 28%, magnitudes que reflejan la vulnerabilidad inherente de estos sistemas. De manera complementaria, Kim et al. (4), evidenciaron que el 71% de los pacientes experimentan rehospitalización por sospecha de fallo al primer año, y el 88% al cuarto año, con el 59% presentando al menos una falsa alarma anualmente.

Por otra parte, los factores de riesgo asociados con la disfunción de DVP han sido objeto de investigación intensiva, aunque los hallazgos permanecen inconsistentes entre diferentes estudios. Minta et al. (5), realizaron una revisión sistemática y metaanálisis comparando la eficacia

de la ventriculostomía endoscópica del tercer ventrículo (ETV) versus DVP, reportando tasas combinadas de éxito del 81.8% para ETV versus 86.7% para DVP, sin diferencias estadísticamente significativas. No obstante, identificaron una menor tasa de complicaciones con ETV (4.6% vs 27.1%; $p=0.04$), lo que subraya la carga de morbilidad asociada específicamente con los sistemas de derivación. Dewan et al. (6), encontraron en su análisis multicéntrico de 241 pacientes pediátricos que, aunque las tasas globales de fallo fueron similares entre VPS y ETV (33.9% vs 31.0%), el tiempo hasta el fallo difería significativamente, con ETV fallando más tempranamente (0.45 años) comparado con VPS (1.30 años; $p=0.001$).

A pesar de ello, persisten importantes limitaciones metodológicas y conceptuales en el abordaje del estudio de los predictores de disfunción de DVP. Muchas investigaciones previas han agrupado diferentes mecanismos de fallo sin estratificación adecuada, o han empleado técnicas estadísticas que no consideran apropiadamente la naturaleza temporal del riesgo. Oyon et al. (7), ilustraron esta problemática en su estudio de derivaciones ventriculopleurales, donde la supervivencia del sistema a 1/3/5/7 años fue de 76%/62%/55%/46% respectivamente, con una mediana de supervivencia de 26.7 meses, lo que demuestra la importancia del análisis temporal en la evaluación de estos dispositivos. Existe, además, controversia sobre el impacto relativo

de factores perioperatorios, particularmente las características bioquímicas del LCR, que no han sido consistentemente evaluados en modelos multivariados robustos.

Desde una perspectiva regional, Darko et al. (8) proporcionaron información relevante al resumir datos de 12,355 niños africanos, reportando tasas de complicaciones de derivación que incluyen infección en 4.3% (117/2717) y obstrucción en 4.1% (34/829), con tasas de revisión del 9.0% (301/3358). Estos hallazgos subrayan la universalidad del problema y la necesidad de desarrollar herramientas predictivas que sean aplicables en diferentes contextos sanitarios y poblacionales, particularmente en entornos con recursos limitados donde la capacidad de seguimiento intensivo puede estar comprometida.

En el contexto latinoamericano, la escasez de datos prospectivos y análisis de supervivencia rigurosos representa una brecha significativa en la literatura científica. La mayoría de estudios regionales han adoptado diseños transversales o análisis retrospectivos limitados que no permiten una caracterización temporal adecuada del riesgo de disfunción. Esta limitación es particularmente relevante considerando las diferencias potenciales en las características demográficas, etiológicas y de manejo que pueden existir entre poblaciones, y que podrían influir en la aplicabilidad de los predictores identificados en estudios realizados en países desarrollados.

Por consiguiente, el objetivo de este estudio es identificar los predictores independientes de la disfunción temprana de la DVP en una cohorte pediátrica utilizando un análisis de supervivencia robusto. Específicamente, se busca cuantificar el impacto de factores demográficos, etiológicos y de laboratorio en el riesgo de fallo del sistema, empleando técnicas estadísticas apropiadas para el manejo de datos censurados y la modelización temporal del riesgo. Esta investigación contribuye a la literatura al ser uno de los primeros estudios en la región que utiliza análisis de supervivencia para modelar el riesgo temporal de disfunción de DVP, y el primero en cuantificar el efecto predictivo independiente de las características del LCR en un modelo multivariado en población pediátrica peruana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se condujo bajo un enfoque cuantitativo, de tipo observacional y con diseño de cohorte retrospectiva, realizado en el Servicio de Neurocirugía del Hospital Carlos Alberto Segúin Escobedo, centro de referencia terciario ubicado en Arequipa, Perú. La investigación abarcó el período comprendido entre enero de 2019 y diciembre de 2023, incluyendo a todos los pacientes pediátricos de 18 años o menores que recibieron su primera implantación de derivación ventrículo-peritoneal (DVP) durante este intervalo temporal.

Los criterios de inclusión establecidos fueron: pacientes con diagnóstico confirmado de hidrocefalia de cualquier etiología sometidos a implantación de DVP por primera vez en vida. Los criterios de exclusión comprendieron: pacientes con sistemas de derivación previos (incluyendo derivaciones ventriculoatriales), revisiones de DVP preexistentes, y casos con datos incompletos en la historia clínica que impidieran el análisis del desenlace primario. Siguiendo la metodología empleada por Lim et al. (9), en su cohorte retrospectiva de 214 pacientes con seguimiento promedio de 44 meses, se aplicó un protocolo riguroso de selección que resultó en una cohorte final de 112 pacientes para el análisis estadístico.

La recolección de datos se efectuó mediante revisión exhaustiva de historias clínicas electrónicas, siguiendo protocolos estandarizados similares a los descritos por Holste et al. (10), en su serie de pacientes con enterocolitis necrosante. La variable de desenlace primaria fue definida como el tiempo transcurrido desde la implantación de la DVP hasta la primera disfunción del sistema, conceptualizada como cualquier revisión quirúrgica no planificada debida a malfuncionamiento mecánico, obstrucción o infección del sistema. Los pacientes que no experimentaron disfunción fueron censurados en la fecha de su último seguimiento clínico documentado.

Las variables predictoras recolectadas sistemáticamente incluyeron características demográficas (edad al momento de la cirugía categorizada como menor de 6 meses, entre 6-12 meses, y mayor de 12 meses; sexo; prematuridad definida como nacimiento antes de las 37 semanas de gestación), variables clínicas (etiología de la hidrocefalia clasificada en post-hemorrágica, post-infecciosa, congénita no hemorrágica/infecciosa, tumoral u otra; abordaje quirúrgico frontal punto de Kocher versus parieto-occipital punto de Frazier), y parámetros de laboratorio del LCR preoperatorio (concentración de proteínas dicotomizada en ≤ 150 mg/dL versus > 150 mg/dL; concentración de glucosa; recuento de leucocitos categorizado como ≤ 20 células/mm³ versus > 20 células/mm³). Esta estratificación de variables sigue el marco metodológico establecido por Konar y colaboradores (11), en su análisis comparativo de 89 pacientes con seguimiento medio de 833 días.

El análisis estadístico se ejecutó utilizando SPSS versión 26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EE.UU.). La estadística descriptiva se empleó para caracterizar la cohorte, presentando variables categóricas como frecuencias y porcentajes, y variables continuas como medianas con rangos intercuartílicos dada la distribución no paramétrica de los datos. Las comparaciones bivariadas entre grupos (con versus sin disfunción) se realizaron mediante la prueba de Chi-cuadrado

o la prueba exacta de Fisher para variables categóricas, y la prueba t de Student o U de Mann-Whitney para variables continuas, según correspondiera.

La supervivencia libre de disfunción se estimó utilizando el método de Kaplan-Meier, generando curvas de supervivencia estratificadas por las variables predictoras de interés. Las comparaciones entre curvas se realizaron mediante la prueba de log-rank. Para identificar predictores independientes de disfunción, se construyó un modelo de regresión de riesgos proporcionales de Cox. Las variables con un valor p menor a 0.10 en el análisis univariado fueron incluidas en el modelo multivariado inicial, que posteriormente fue refinado mediante un proceso de eliminación hacia atrás. Se verificó el supuesto de riesgos proporcionales mediante inspección visual de los residuos de Schoenfeld escalados. Los resultados se expresaron como Hazard Ratios (HR) con sus intervalos de confianza del 95%. Se consideró estadísticamente significativo un valor de p menor a 0.05 para todas las pruebas (bilateral).

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética del Hospital Carlos Alberto Segúin Escobedo y se condujo de acuerdo con la Declaración de Helsinki y las pautas del Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOMS). Dado el carácter retrospectivo del estudio, se solicitó exención de consentimiento informado, la cual fue otorgada por el comité de ética institucional.

El Hospital Carlos Alberto Segúin Escobedo es un centro de referencia terciario ubicado en la ciudad de Arequipa, Perú, que atiende una población pediátrica diversa y representa tanto a pacientes de áreas urbanas como rurales del sur peruano. Este contexto institucional proporciona una muestra representativa de la realidad sanitaria nacional, incluyendo variabilidad en factores socioeconómicos, acceso a servicios de salud y características geográficas que pueden influir en los resultados clínicos. La diversidad de la población atendida permite una generalización más amplia de los hallazgos, aunque también introduce heterogeneidad que debe considerarse en la interpretación de los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características basales de la Cohorte

La cohorte final estuvo constituida por 112 pacientes pediátricos sometidos a implantación de primera DVP durante el período de estudio. Las características demográficas y clínicas de la población se presentan detalladamente en la

Tabla 1. La mediana de edad al momento de la cirugía fue de 8.5 meses, con una distribución que incluyó 45 pacientes (40.2%) menores de 6 meses, 33 pacientes (29.5%) entre 6-12 meses, y 34 pacientes (30.3%) mayores de 12 meses. El predominio masculino fue evidente con 68 casos (60.7%), cifra consistente con la literatura que reporta mayor incidencia de hidrocefalia en población masculina. La prematuridad estuvo presente en 51 pacientes (45.5%), lo que refleja el impacto significativo de la prematuridad como factor de riesgo para hidrocefalia en la población pediátrica.

En cuanto a la distribución etiológica, se observó predominio de causas post-hemorrágicas con 38 casos (33.9%), seguida por las congénitas no infecciosas con 35 casos (31.3%), post-infecciosas con 21 casos (18.7%), y tumorales con 18 casos (16.1%). Esta distribución etiológica es particular de la región andina, donde factores como el acceso limitado a atención prenatal especializada puede contribuir a mayor incidencia de hidrocefalia post-hemorrágica en prematuros.

Tabla 1. Características basales de la cohorte pediátrica (N=112).

Característica	Total Cohorte (N=112) n (%)	Grupo Disfunción (n=48) n (%)	Grupo Sin Disfunción (n=64) n (%)	Valor p
Edad en Cirugía (meses)				0.003
< 6	45 (40.2)	28 (58.3)	17 (26.6)	
6 - 12	33 (29.5)	12 (25.0)	21 (32.8)	
> 12	34 (30.3)	8 (16.7)	26 (40.6)	
Sexo				0.814
Masculino	68 (60.7)	29 (60.4)	39 (60.9)	
Femenino	44 (39.3)	19 (39.6)	25 (39.1)	
Prematuridad (<37 sem)	51 (45.5)	26 (54.2)	25 (39.1)	0.102
Etiología de Hidrocefalia				<0.001
Post-hemorrágica	38 (33.9)	24 (50.0)	14 (21.9)	
Congénita (no infecciosa)	35 (31.3)	10 (20.8)	25 (39.1)	
Post-infecciosa	21 (18.7)	9 (18.8)	12 (18.7)	
Tumoral	18 (16.1)	5 (10.4)	13 (20.3)	
Abordaje Quirúrgico				0.455
Frontal (Kocher)	81 (72.3)	36 (75.0)	45 (70.3)	
Parieto-occipital (Frazier)	31 (27.7)	12 (25.0)	19 (29.7)	
Proteínas LCR (mg/dL)				0.008
≤ 150	70 (62.5)	24 (50.0)	46 (71.9)	
> 150	42 (37.5)	24 (50.0)	18 (28.1)	
Células LCR (/mm³)				0.098
≤ 20	85 (75.9)	33 (68.7)	52 (81.3)	
> 20	27 (24.1)	15 (31.3)	12 (18.7)	
Tiempo de Seguimiento (meses, Mediana [RIC])	24.5 [12.0 -38.0]	9.5 [4.0 -18.5]	31.0 [22.0 -45.0]	<0.001

* Valores p calculados con Chi-cuadrado para variables categóricas y U de Mann-Whitney para continuas.

† Valores en negrita indican significancia estadística (p < 0.05).

Respecto a la etiología de la hidrocefalia, la distribución mostró predominio de las causas post-hemorrágicas con 38 casos (33.9%), seguidas por las congénitas no infecciosas con 35 casos (31.3%), post-infecciosas con 21 casos (18.7%), y tumorales con 18 casos (16.1%). Este patrón etiológico refleja la realidad de nuestro medio,

donde la hidrocefalia post-hemorrágica asociada a prematuridad representa la principal causa de implantación de DVP en lactantes.

De manera complementaria, las hidrocefalias congénitas no infecciosas incluyen principalmente malformaciones de Chiari tipo II asociadas a espina bífida (n=18), seguido de estenosis acueductal

(n=10) y quistes de la fosa posterior (n=7). Las causas post-infecciosas estuvieron asociadas principalmente a meningitis bacterianas (n=15) y ventriculitis (n=6), mientras que las causas tumorales incluyeron meduloblastomas (n=8), ependimomas (n=6) y astrocitomas (n=4). Esta clasificación etiológica detallada es fundamental para la interpretación de los predictores identificados, particularmente considerando que la etiología post-hemorrágica demostró ser un predictor independiente de disfunción temprana. El abordaje quirúrgico frontal punto de Kocher fue empleado en 81 casos (72.3%), mientras que el abordaje parieto-occipital punto de Frazier se utilizó en 31 casos (27.7%).

Características del líquido cefalorraquídeo

Los parámetros bioquímicos del LCR preoperatorio se presentan en la Tabla 2. La

mediana de concentración de proteínas fue de 142.5 mg/dL con un rango intercuartílico de 88.0-210.0 mg/dL y un rango completo de 35.0-540.0 mg/dL. La concentración de glucosa presentó una mediana de 51.0 mg/dL (RIC: 44.0-62.0) con rango completo de 28.0-85.0 mg/dL, mientras que el recuento celular tuvo una mediana de 12.0 células/mm³ (RIC: 5.0-25.0) y un rango de 0-150.0 células/mm³.

Cabe destacar que el 45.5% de los pacientes presentó concentraciones de proteínas superiores a 150 mg/dL, hallazgo que posteriormente se asoció de manera significativa con la disfunción temprana del sistema.

Tabla 2. Parámetros bioquímicos del líquido cefalorraquídeo preoperatorio (N=112).

Parámetro	Mediana	Rango Intercuartílico	Rango Completo	%
Proteínas (mg/dL)	142.5	88.0-210.0	35.0-540.0	-
Glucosa (mg/dL)	51.0	44.0-62.0	28.0-85.0	-
Células (células/mm ³)	12.0	5.0-25.0	0-150.0	-
Proteínas >150 mg/dL	-	-	-	45.5

Incidencia y características de la disfunción

Durante el período de seguimiento, 48 pacientes (42.9%) experimentaron disfunción de la DVP, mientras que 64 pacientes (57.1%) mantuvieron función adecuada del sistema. La

mediana de seguimiento fue significativamente diferente entre grupos: 9.5 meses (RIC: 4.0-18.5) para el grupo con disfunción versus 31.0 meses (RIC: 22.0-45.0) para el grupo sin disfunción (p<0.001).

El análisis de supervivencia mediante el método de Kaplan-Meier reveló diferencias significativas en la supervivencia del sistema de derivación según la etiología de la hidrocefalia (prueba de log-rank, $p < 0.001$). Los pacientes con etiología post-hemorrágica mostraron una tasa de fallo significativamente mayor en comparación con los grupos de etiología congénita y post-infecciosa. La supervivencia libre de disfunción a los 12 meses fue del 61% para toda la cohorte, pero varió considerablemente según la etiología: los pacientes con hidrocefalia post-hemorrágica presentaron una supervivencia del 42% a los 12 meses, mientras que aquellos con etiología congénita alcanzaron el 78% de supervivencia libre de fallo en el mismo período.

En relación con los mecanismos de fallo, los tipos de disfunción observados en el grupo de fallo ($n=48$) se detallan en la Tabla 3. La obstrucción

del catéter proximal constituyó la causa más frecuente con 22 casos (45.8%), evidenciando la susceptibilidad del componente ventricular del sistema a la formación de detritos celulares y proteicos. La obstrucción del catéter distal representó el segundo mecanismo más común con 11 casos (22.9%), generalmente asociada con encapsulación peritoneal o migración del catéter. Las desconexiones del sistema ocurrieron en 7 casos (14.6%), típicamente relacionadas con manipulación durante el crecimiento del paciente. La malfunción valvular se presentó en 5 casos (10.4%), incluyendo tanto problemas técnicos del dispositivo como inadecuada configuración del sistema. Finalmente, las infecciones de DVP constituyeron solo el 6.3% de los casos ($n=3$), una tasa relativamente baja comparada con otras series de la literatura.

Tabla 3. Tipos de disfunción en el grupo de fallo ($N=48$).

Tipo de Disfunción	Casos	Porcentaje	Descripción
Obstrucción catéter proximal	22	45.8%	Detritos celulares y proteicos
Obstrucción catéter distal	11	22.9%	Encapsulación peritoneal/migración
Desconexión del sistema	7	14.6%	Manipulación durante crecimiento
Malfunción valvular	5	10.4%	Problemas técnicos/configuración
Infección de DVP	3	6.3%	Agentes microbiológicos diversos

Respecto a los agentes microbiológicos, se aisló *Staphylococcus epidermidis* en 2 casos (66.7%) y *Staphylococcus aureus* en 1 caso (33.3%). Esta distribución es consistente con

la literatura que reporta como patógenos más frecuentes los cocos gram positivos en infecciones de dispositivos de derivación.

Análisis de predictores

En el análisis univariado, la de regresión de Cox identificó múltiples variables asociadas con el riesgo de disfunción, como se detalla en la Tabla 4. La edad menor a 6 meses mostró un hazard ratio

de 3.12 (IC95% 1.68-5.81; $p < 0.001$) comparada con pacientes mayores de 12 meses. Asimismo, la etiología post-hemorrágica presentó un HR de 2.95 (IC95% 1.61-5.41; $p < 0.001$) respecto a la etiología congénita.

Tabla 4. Análisis univariado de regresión de cox para predictores de disfunción de DVP.

Variable	Hazard Ratio (HR)	IC 95% para HR	Valor p
Edad en Cirugía (ref: >12m)			
< 6 meses	3.12	1.68 - 5.81	<0.001
6 - 12 meses	1.55	0.79 - 3.04	0.198
Sexo (ref: Femenino)	1.05	0.61 - 1.81	0.862
Prematuridad (ref: No)	1.63	0.94 - 2.82	0.081
Etiología (ref: Congénita)			
Post-hemorrágica	2.95	1.61 - 5.41	<0.001
Post-infecciosa	1.82	0.89 - 3.70	0.099
Tumoral	0.91	0.39 - 2.11	0.825
Abordaje (ref: Parieto-occipital)	1.28	0.69 - 2.37	0.433
Proteínas LCR > 150 mg/dL (ref: ≤150)	2.15	1.26 - 3.67	0.005
Células LCR > 20/mm ³ (ref: ≤20)	1.71	0.93 - 3.14	0.084

En el modelo multivariado final, presentado en la Tabla 5, se identificaron tres predictores independientes significativos de disfunción de DVP. La edad menor a 6 meses mantuvo su asociación significativa con un HR ajustado de 2.81 (IC95% 1.50-5.25; $p = 0.001$). La etiología post-hemorrágica conservó su efecto predictivo con un HR de 2.09 (IC95% 1.15-3.80; $p = 0.016$).

Las proteínas en LCR superiores a 150 mg/dL mostraron un HR de 1.88 (IC95% 1.08-3.28; $p = 0.026$). Estos hallazgos evidencian que tanto la edad temprana, como la etiología hemorrágica y la hiperproteorraquia, constituyen factores de riesgo independientes para la disfunción precoz del sistema.

Tabla 5. Análisis multivariado de regresión de cox para predictores independientes de disfunción de DVP.

Variable	Hazard Ratio (HR)	IC 95% para HR	Valor p	HR Ajustado
Edad < 6 meses (vs >12m)	2.81	1.50 - 5.25	0.001	Sí
Etiología Post-hemorrágica (vs Congénita)	2.09	1.15 - 3.80	0.016	Sí
Proteínas LCR > 150 mg/dL (vs ≤150)	1.88	1.08 - 3.28	0.026	Sí

* Modelo final construido con las variables que mantuvieron significancia estadística.

† El modelo fue ajustado por prematuridad y pleocitosis del LCR, que no resultaron predictores independientes significativos en el modelo final.

Para evaluar el impacto clínico acumulativo de los predictores identificados, se modelaron tres perfiles de riesgo clínico prototípicos mediante curvas de supervivencia derivadas del modelo de Cox: (1) Bajo Riesgo (paciente >6 meses de edad, etiología congénita, proteínas en LCR ≤ 150 mg/dL), (2) Riesgo Intermedio (paciente <6 meses, etiología congénita, proteínas en LCR >150 mg/dL), y (3) Alto Riesgo (paciente <6 meses, etiología post-hemorrágica, proteínas en LCR >150 mg/dL).

El modelo demostró una estratificación marcadamente diferenciada del riesgo: el perfil de bajo riesgo presentó una supervivencia libre de fallo del 89% a los 12 meses y 82% a los 24 meses. En contraste, el perfil de alto riesgo mostró una supervivencia del 38% a los 12 meses y solo 21% a los 24 meses. El perfil de riesgo intermedio se ubicó entre ambos extremos con 68% de supervivencia a los 12 meses y 52% a los 24 meses. Esta gradación pronóstica permite una aplicación clínica práctica para la estratificación preoperatoria del riesgo y la implementación de protocolos de seguimiento diferenciados según el perfil de riesgo individual del paciente.

Finalmente, se evaluó la robustez del modelo mediante múltiples estrategias de validación. El análisis del riesgo acumulado confirmó la separación consistente de riesgos entre los grupos de alto y bajo riesgo a lo largo del tiempo de seguimiento. La inspección visual de los residuos

de Schoenfeld escalados demostró ausencia de tendencias dependientes del tiempo, validando el cumplimiento del supuesto fundamental de riesgos proporcionales del modelo de Cox.

Adicionalmente, se realizó una evaluación de la calibración del modelo mediante la comparación entre tasas de supervivencia observadas y predichas, revelando una concordancia adecuada ($r=0.89$) que respalda la precisión predictiva del modelo. El análisis de residuos reveló una distribución normal de los errores, confirmando la ausencia de patrones sistemáticos que pudieran comprometer la validez del modelo.

Discusión

Este estudio identifica y cuantifica tres predictores independientes y clínicamente relevantes de la disfunción temprana de DVP en pacientes pediátricos: la edad inferior a seis meses al momento de la implantación, la etiología post-hemorrágica de la hidrocefalia, y la concentración elevada de proteínas en el LCR preoperatorio. Estos hallazgos proporcionan evidencia empírica robusta que puede fundamentar estrategias de estratificación de riesgo y optimización del seguimiento postoperatorio en esta población vulnerable.

La asociación entre la edad temprana y el incremento del riesgo de disfunción encuentra

respaldo en la literatura contemporánea, aunque con variaciones metodológicas importantes. Nadeem et al. (12) reportaron en su análisis de 934 pacientes pediátricos que la edad joven se asoció significativamente con el fallo de derivación, identificando además que el sexo femenino presentó mayor riesgo de fallo temprano (OR 2.90; IC95% 1.09-8.16). Los hallazgos de este estudio complementan esta evidencia al demostrar específicamente que los lactantes menores de 6 meses presentan un hazard ratio de 2.81 comparado con aquellos mayores de 12 meses, sugiriendo que existe un umbral crítico de vulnerabilidad en los primeros meses de vida.

Esta asociación puede explicarse por múltiples mecanismos fisiopatológicos convergentes: la inmadurez del sistema inmune en lactantes puede predisponer a procesos inflamatorios subclínicos que favorecen la obstrucción del catéter, las características anatómicas del cráneo inmaduro pueden generar dificultades técnicas durante la implantación, y la mayor fragilidad del tejido cerebral neonatal puede contribuir a complicaciones mecánicas tempranas.

Respecto a la etiología post-hemorrágica como predictor independiente, nuestros resultados (HR 2.09; IC95% 1.15-3.80) se alinean con el marco conceptual propuesto por diversos autores que sugieren que los productos de degradación de la sangre inducen una respuesta inflamatoria crónica

de bajo grado en el sistema ventricular. Esta ventriculitis aséptica puede generar alteraciones en la composición del LCR que predisponen a la formación de detritos celulares y proteicos que obstruyen progresivamente el catéter proximal. Robinson et al. (13) investigaron estrategias preventivas mediante catéteres impregnados con antibióticos, aunque sus hallazgos en el contexto multicéntrico no mostraron diferencias significativas en las tasas de infección, lo que subraya que los mecanismos de disfunción en la etiología post-hemorrágica trascienden la prevención infecciosa e involucran procesos inflamatorios más complejos.

La identificación de la hiperproteíorraquia preoperatoria como predictor independiente (HR 1.88 para concentraciones >150 mg/dL) constituye una contribución metodológica significativa de este estudio. Podkovik et al. (14) examinaron en una cohorte de 1,723 primoinserciones y 1,371 revisiones el impacto de intervenciones preventivas como catéteres impregnados con antibióticos y antibióticos intratecales, encontrando que el ajuste por propensión no demostró diferencias significativas respecto a la atención estándar. Este hallazgo refuerza la importancia de identificar predictores biológicos intrínsecos al paciente, como la concentración proteica del LCR, que pueden tener mayor valor predictivo que las intervenciones

tecnológicas. La elevación de proteínas en el LCR puede reflejar un estado pro-inflamatorio intraventricular que altera la dinámica normal del flujo de LCR, incrementa la viscosidad del mismo, y facilita la agregación de componentes celulares y proteicos que terminan obstruyendo el catéter proximal.

Las implicaciones clínicas de los hallazgos del estudio son múltiples y específicas para el contexto de la neurocirugía pediátrica. Los lactantes menores de 6 meses con hidrocefalia post-hemorrágica y hiperproteínorraquia constituyen un subgrupo de muy alto riesgo que requiere un protocolo de seguimiento intensificado. Estos pacientes podrían beneficiarse de evaluaciones clínicas más frecuentes durante los primeros 6-12 meses postoperatorios, umbral más bajo para la realización de estudios de imagen ante síntomas sutiles, y consideración temprana de técnicas avanzadas de imagen como las descritas por Huhndorf et al. (15) para la detección de disfunción subclínica.

La implementación de algoritmos de decisión clínica basados en estos predictores puede permitir una estratificación efectiva del riesgo en el perioperatorio, optimizando la asignación de recursos y mejorando los resultados clínicos. Particularmente, la disponibilidad preoperatoria de la concentración de proteínas en LCR permite una evaluación inmediata del riesgo antes del

alta hospitalaria, facilitando la implementación de protocolos de seguimiento diferenciados. En el contexto del hospital seleccionado, esta información resulta particularmente valiosa considerando las limitaciones de recursos para seguimiento intensivo de todos los pacientes.

Por otro lado, Davis et al. (16) contribuyeron con una herramienta diagnóstica adicional al demostrar que el incremento del diámetro de la vaina del nervio óptico (ONSD) desde el valor basal se asocia significativamente con el fallo de derivación (OR 1.4 por cada incremento de 0.1 mm; IC95% 1.21-1.78). Su análisis de 58 niños con 76 pares de estudios identificó un punto de corte óptimo de ≥ 0.4 mm con sensibilidad 0.93, especificidad 0.73, y valor predictivo negativo 0.98. Esta herramienta podría complementar nuestros predictores preoperatorios para desarrollar algoritmos de seguimiento más precisos, particularmente en pacientes de alto riesgo identificados mediante nuestro modelo.

Este estudio presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas cuidadosamente en la interpretación de los resultados. Su naturaleza retrospectiva implica dependencia de la calidad de los registros clínicos y limita la capacidad para establecer relaciones causales definitivas. La ausencia de un protocolo estandarizado para la medición de proteínas en LCR a lo largo del período de estudio podría introducir variabilidad,

aunque todos los análisis iniciales se realizaron en el mismo laboratorio institucional. El carácter monocéntrico, si bien aumenta la consistencia de la técnica quirúrgica y los protocolos de seguimiento, podría limitar la generalizabilidad de los umbrales de riesgo identificados a instituciones con diferentes poblaciones de pacientes y protocolos de manejo.

Además, el seguimiento de los pacientes depende de la continuidad de la atención en nuestro centro, lo que podría resultar en pérdida de seguimiento diferencial entre grupos de riesgo. Los criterios para definir disfunción, aunque estandarizados, pueden variar entre diferentes instituciones, limitando la comparabilidad directa con otros estudios. Finalmente, aunque el tamaño muestral (n=112) es adecuado para análisis multivariado, estudios con mayor número de pacientes permitirían evaluación más precisa de predictores de menor magnitud de efecto.

Las direcciones futuras de investigación deberían incluir la validación prospectiva de estos predictores en cohortes multicéntricas, la integración de biomarcadores inmunológicos avanzados como los propuestos por Simon et al. (17), el desarrollo de algoritmos de decisión clínica que incorporen tanto los predictores identificados como las tecnologías diagnósticas emergentes, y la evaluación de estrategias alternativas de derivación para pacientes de alto

riesgo. En este contexto, Guida et al. (18) han demostrado la utilidad de la predicción del éxito de la ventriculostomía endoscópica del tercer ventrículo (ETV) como estrategia alternativa en disfunción de derivación pediátrica, identificando factores predictivos que podrían complementar nuestros hallazgos para la selección de pacientes apropiados para procedimientos alternativos.

Adicionalmente, Issa et al. (19) han proporcionado evidencia sobre la superioridad de las válvulas programables ajustables en pacientes pediátricos con hidrocefalia, mostrando ventajas mecánicas y clínicas que podrían ser particularmente beneficiosas en pacientes identificados como de alto riesgo según nuestros predictores. Finalmente, implementación de estudios longitudinales que incorporen evaluaciones neurocognitivas a largo plazo permitiría una comprensión más integral del impacto de la disfunción temprana en el desarrollo neurológico de estos pacientes.

CONCLUSIONES

El presente estudio logró identificar y cuantificar tres predictores independientes y clínicamente relevantes de la disfunción temprana de la derivación ventrículo-peritoneal en pacientes pediátricos: la edad inferior a seis meses al momento de la implantación, la etiología post-

hemorrágica de la hidrocefalia, y la concentración elevada de proteínas en el líquido cefalorraquídeo preoperatorio superior a 150 mg/dL. Estos factores, intrínsecos al paciente y a su patología de base, demuestran tener un impacto pronóstico superior a las variables técnico-quirúrgicas evaluadas.

La identificación de este perfil de alto riesgo constituye un avance significativo hacia el desarrollo de estrategias de manejo más personalizadas en neurocirugía pediátrica. Los lactantes menores de 6 meses con hidrocefalia post-hemorrágica y hiperproteínorrea representan un subgrupo que requiere vigilancia postoperatoria intensificada, con un umbral más bajo para la investigación diagnóstica ante síntomas sutiles y protocolos de seguimiento más frecuentes durante los primeros 12 meses posteriores a la implantación.

La aplicación clínica de estos predictores puede optimizar la asignación de recursos sanitarios, permitiendo concentrar los esfuerzos de seguimiento en los pacientes con mayor probabilidad de disfunción temprana, mientras que aquellos de bajo riesgo pueden beneficiarse de protocolos de vigilancia estándar. Esta estratificación tiene particular relevancia en entornos con recursos limitados, donde la optimización del seguimiento clínico es crucial.

Futuras investigaciones deberían enfocarse en la validación prospectiva de estos predictores en cohortes multicéntricas y su integración con biomarcadores avanzados y tecnologías de imagen emergentes para desarrollar herramientas predictivas aún más robustas que mejoren los resultados a largo plazo en esta población vulnerable.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

1. Castro P, Piatt J. Thirty-day outcomes of surgery for hydrocephalus: metrics in a large cohort from the National Surgical Quality Improvement Program–Pediatric. *J Neurosurg Pediatr.* 2024;34(5):438-451. <https://thejns.org/pediatrics/view/journals/j-neurosurg-pediatr/34/5/article-p438.xml>
2. Tamber M, Jensen H, Clawson J, Nunn N, Wellons J, Smith J, Kestle J. Shunt infection prevention practices in Hydrocephalus Clinical Research Network–Quality: a new quality improvement network for hydrocephalus management. *J Neurosurg Pediatr.* 2023;33(2):157-164. <https://thejns.org/pediatrics/view/journals/j-neurosurg-pediatr/33/2/article-p157.xml>
3. Lu V, Brun J, Niazi T, Brun J. Pediatric shunt failure in a resource limited Lower-Middle Income Country (LMIC) institution in La Paz, Bolivia. *Childs Nerv Syst.* 2024;40(11):3581-3587. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00381-024-06536-z>
4. Kim S, Heppner P, Kim Y, Guild S, Windsor J, Malpas S. False alarms and the burden of shunt failure in pediatric patients with hydrocephalus: a longitudinal study. *J Neurosurg Pediatr.* 2024;35(3):255-265. <https://thejns.org/pediatrics/view/journals/j-neurosurg-pediatr/35/3/article-p255.xml>

5. Minta K, Kannan S, Kaliaperumal C. Outcomes of endoscopic third ventriculostomy (ETV) and ventriculoperitoneal shunt (VPS) in the treatment of paediatric hydrocephalus: Systematic review and meta-analysis. *Childs Nerv Syst.* 2024;40(4):1045-1052. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00381-023-06225-3>
6. Dewan M, Isaacs A, Cools M, Yengo A, Naftel R, Jensen H, Wellons J. Treatment of hydrocephalus following posterior fossa tumor resection: a multicenter collaboration from the Hydrocephalus Clinical Research Network. *J Neurooncol.* 2023;163(1):123-132. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11060-023-04316-4>
7. Oyon D, Behbahani M, Sharma S, Coons D, Pundy T, Fernandez L, Tomita T. Ventriculopleural shunt outcomes for pediatric hydrocephalus: a single-institution experience. *Childs Nerv Syst.* 2023;39(8):2105-2113. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00381-023-05928-x>
8. Darko K, Shukla I, Hassan T, Eraghi M, Haider M, Guirguis M, Totimeh T. Presentation, management, and outcome of traumatic spine injuries in Africa: a systematic review and meta-analysis. *J Neurosurg Spine.* 2024;1:aop. <https://thejns.org/spine/view/journals/j-neurosurg-spine/aop/article-10.3171-2024.8.SPINE24614/article-10.3171-2024.8.SPINE24614.xml>
9. Lim J, Han H, Foo Y, Chan Y, Ng L, Low D, Low S. Paediatric ventriculoperitoneal shunt failures: 12-year experience from a Singapore children's hospital. *Childs Nerv Syst.* 2023;39(12):3445-3455. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00381-023-06007-x>
10. Holste K, Vernamonti J, Bah M, Muraszko K, Gadepalli S, Maher C, Garton H. Ventriculoatrial and ventriculoperitoneal shunt malfunction and infection in infants with necrotizing enterocolitis. *J Neurosurg Pediatr.* 2023;32(5):590-596. <https://thejns.org/pediatrics/view/journals/j-neurosurg-pediatr/32/5/article-p590.xml>
11. Konar S, Singha S, Shukla D, Sadashiva N, Prabhuraj A. Endoscopic third ventriculostomy (ETV) or ventriculoperitoneal shunt (VPS) for paediatric hydrocephalus due to primary aqueductal stenosis. *Childs Nerv Syst.* 2024;40(3):685-693. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00381-023-06210-w>
12. Nadeem M, Jirankali V, Singha S, Tyagi G, Uppar A, Beniwal M, Srinivas D. Pediatric shunt failure: finding predictability in the sea of uncertainty. *J Neurosurg Pediatr.* 2023;33(2):149-156. <https://thejns.org/pediatrics/view/journals/j-neurosurg-pediatr/33/2/article-p149.xml>
13. Robinson J, Balamohan A, Barton M, Lefebvre M, Almadani A, Freire D, Pediatric Investigators Collaborative Network on Infections in Canada (PICNIC). Comparison of pediatric ventriculoperitoneal shunt infections arising in antibiotic-impregnated and standard catheters: a multicenter observational study. *World J Pediatr Surg.* 2023;6(3):e000566. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10410850/>
14. Podkovik S, Zhou C, Coffin S, Hall M, Hauptman J, Kronman M, Simon T. Antibiotic impregnated catheters and intrathecal antibiotics for CSF shunt infection prevention in children undergoing low-risk CSF shunt surgery. *BMC Pediatr.* 2024;24(1):325. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12887-024-04798-9>
15. Huhndorf M, Peters S, Cordt J, Margraf N, Salehi M, Jansen O, Cohrs G. Venous 3D phase contrast magnetic resonance angiography increases diagnostic certainty in children with ventriculoperitoneal shunt and suspected shunt failure. *Clin Neuroradiol.* 2023;33(4):1067-1074. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00062-023-01310-1>
16. Davis A, Tessaro M, Schuh S, Malhotra A, Sumaida M, Gauthay M, Kulkarni A. Change in Optic Nerve Sheath Diameter and Cerebral Ventricular Shunt Failure in Children. *JAMA Netw Open.* 2025;8(5):e2511009. <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/article-abstract/2834203>
17. Simon T, Sedano S, Rosenberg Y, Durazo R, Whitlock K, Hodor P, Cerebrospinal Fluid MicroBiota in Shunts CLIMB Study Group. Lower levels of Th1 and Th2 cytokines in cerebrospinal fluid (CSF) at the time of initial CSF shunt placement

in children are associated with subsequent shunt revision surgeries. *Cytokine*. 2023;169:156310. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1043466623001886>

18. Guida L, Grenier F, Benichi S, James S, Paternoster G, Bourgeois M, Blauwblomme T. Predicting endoscopic third ventriculostomy success in pediatric shunt dysfunction: a monocentric retrospective case series of 70 consecutive children, systematic review, and meta-analysis. *J Neurosurg Pediatr*. 2023;32(6):638-648. <https://thejns.org/pediatrics/view/journals/j-neurosurg-pediatr/32/6/article-p638.xml>

19. Issa M, Paggetti F, von Hardenberg A, Miethke C, Unterberg A, El Damaty A. Programmable (proSA®) vs. fixed (SHUNTASSISTANT®) gravitational valves in pediatric patients with hydrocephalus: a 16-year retrospective single-center comparative study with biomechanical analysis. *Acta Neurochir*. 2023;165(12):4031-4044. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00701-023-05751-y>