

INTERVENCIONES MÉDICAS EN NEUROTRAUMA PEDIÁTRICO: UNA SÍNTESIS REALISTA

**Guillermo Andres Ramirez Leon
Santiago Piñeros Arias
Adolfo Alejandro Montenegro Charry**

**Universidad El Bosque
Facultad de Medicina
Pregrado en Medicina
Bogotá
2020**

INTERVENCIONES MÉDICAS EN NEUROTRAUMA PEDIÁTRICO: UNA SÍNTESIS REALISTA

**Guillermo Andres Ramirez Leon
Santiago Piñeros Arias
Adolfo Alejandro Montenegro Charry**

Director: Andres Mariano Rubiano Escobar, MD, PhD, FACS

Trabajo de Grado para Optar por el Título de Médico Cirujano

**Universidad El Bosque
Facultad de Medicina
Pregrado en Medicina
Bogotá
2020**

Nota de salvedad de responsabilidad institucional:



La Universidad EL BOSQUE no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia

Agradecimientos:

Como autores del presente trabajo extendemos nuestro agradecimiento a nuestro tutor y director del proyecto, Dr. Andres Rubiano quien fue nuestra guia y principal apoyo para la elaboracion del presente trabajo. Asimismo agradecemos el acompañamiento brindado por el Dr. Raul Echeverri, para la realizacion del consenso de expertos, el cual fue fundamental para la materializacion del proyecto.

Agradecemos a los docentes del area de investigacion, por el acompañamiento durante todo el proceso de elaboracion.

Tabla de contenido

Diccionario de siglas:	1
Resumen	2
Abstract	3
Problema investigación	4
Preguntas de investigación: formato PICO	10
Objetivos	11
Objetivo general:	11
Objetivos específicos:	11
Metodología:	12
Flujograma estrategia de búsqueda:	13
¿Qué es una síntesis realista?	14
Etapas de la síntesis realista:	15
¿En qué consiste el método Delphi?	17
Preguntas para aplicar método Delphi	22
Bibliografía	26
Marco teórico	29
Población pediátrica	31
Fisiología y morfología:	32
Huesos.....	33
Cráneo	33
Vértebras.....	34
Sistema nervioso central:	34
Meninges:	35
Epitelio	35
Piel	35
Musculatura	36
Cuello	36
Columna vertebral	36
Características de población por rango de edad:	36
Tabla 1. Características de la población pediátrica por rango de edad	36
Diagnóstico y manifestaciones clínicas	37

<i>Tipos de trauma y manifestaciones clínicas:</i>	37
Tabla 2 Tipos de lesiones secundarias al trauma	39
<i>Neurotrauma primario</i>	42
<i>Fractura de cráneo</i>	42
<i>Fractura de cráneo en crecimiento</i>	45
<i>Hematoma epidural agudo</i>	48
<i>Hematoma subdural agudo</i>	50
<i>Hemorragia subaracnoidea traumática</i>	50
<i>Hemorragia intracerebral</i>	51
<i>Hemorragia intraventricular</i>	51
<i>Contusión cerebral</i>	52
<i>Lesión axonal difusa</i>	53
<i>Neurotrauma de abuso</i>	53
<i>Neurotrauma secundario</i>	55
<i>Edema cerebral difuso</i>	55
<i>Neuroimágenes</i>	56
<i>Biomarcadores</i>	62
<i>Abordaje y manejo:</i>	63
<i>Abordaje inicial</i>	63
Tabla 5 Escala de coma de Glasgow	64
Tabla 6 Criterios para la intubación orotraqueal	65
<i>Monitoria</i>	66
<i>Principios generales</i>	67
<i>Intervenciones</i>	69
<i>Reanimación Volumétrica</i>	70
<i>Sedantes, barbitúricos, analgésicos y bloqueo neuromuscular:</i>	72
<i>Terapia hiperosmolar:</i>	79
<i>Hiperventilación:</i>	83
<i>Drenaje de líquido cefalorraquídeo:</i>	84
<i>Hipotermia:</i>	84
<i>Corticosteroides:</i>	86
<i>Anticonvulsivantes:</i>	87
<i>Nutrición:</i>	88

<i>Craniectomía descompresiva:</i>	<i>89</i>
<i>Resultados</i>	<i>92</i>
<i>Reanimación volumétrica:.....</i>	<i>92</i>
<i>Sedación profunda, el uso de anestésicos y barbitúricos:.....</i>	<i>92</i>
<i>Terapia hiperosmolar:.....</i>	<i>92</i>
<i>Conclusión</i>	<i>93</i>
<i>Bibliografía</i>	<i>95</i>
<i>Anexo.....</i>	<i>101</i>
<i>Resultados Consenso.....</i>	<i>101</i>

Diccionario de siglas:

- NICE: National Institute for health and Care Excellence
- PIC: Presión intracraneana
- BTF: Brain Trauma Foundation
- OMS: Organización Mundial de la Salud
- CDC: Centro de control de enfermedades (Center for Disease Control)
- UCI: Unidad de Cuidados Intensivos
- SNC: Sistema Nervioso Central
- PAM: Presión arterial media
- PaO₂: Presión alveolar de oxígeno
- PaCO₂: Presión alveolar de dióxido de carbono
- ATP: Adenosin Trifosfato
- GCS: Glasgow Coma Scale (Escala de coma de Glasgow)
- CT: Tomografía computarizada (por sus siglas en inglés)
- LCR: Líquido Cefalorraquídeo
- MRI: Imagen por Resonancia Magnética (por sus siglas en inglés)
- VPP: valor predictivo positivo
- PVC: Presión Venosa Central
- LEV: Líquidos Endovenosos
- CO₂: Dióxido de carbono
- FLANC: Federación Latinoamericana de Neurocirugía

Resumen

Introducción: El neurotrauma es una enfermedad de alta incidencia en la población pediátrica, y representa una de las principales causas de discapacidad y mortalidad en dicha población. Sin embargo, actualmente es evidente la falta de evidencia disponible en el abordaje de dicha enfermedad, lo cual limita de manera significativa el tratamiento y el pronóstico de la misma. Las intervenciones a discutir son: Reanimación volumétrica, terapia hiperosmolar y sedación profunda.

Objetivos: Elaborar una síntesis realista sobre las tres intervenciones médicas más utilizadas en neurotrauma pediátrico.

Metodología: Aplicación de una síntesis realista, por medio de una revisión narrativa y la implementación de un consenso de expertos por medio del método Delphi.

Resultados: Es evidente, que el abordaje del neurotrauma pediátrico en Latinoamérica es bastante heterogéneo, lo cual se explica por la falta de evidencia disponible, sin embargo, existe un consenso en ciertos parámetros acordes a las guías de práctica clínica actuales.

Conclusiones: Actualmente no existen niveles de recomendación lo suficientemente fuertes para estandarizar el manejo médico del neurotrauma pediátrico, por lo cual, es fundamental implementar metodologías de investigación como la síntesis realista, que permita llenar los vacíos en la evidencia actual, y asimismo permitan en el futuro la creación de protocolos estandarizados en Latinoamérica.

Palabras Clave: Neurotrauma, pediátrico, terapia hiperosmolar, sedación profunda, reanimación volumétrica, manejo médico

Abstract

Introduction Traumatic brain injury (TBI) has a high incidence in pediatric population and represents one of the main causes of disability and mortality. Actually, there is a lack of evidence available about the approach of this disease; that represents a limitation in the management and outcome. The interventions to discuss are: Volumetric reanimation, hyperosmolar therapy and deep sedation

Objectives: Apply a realist synthesis about the three of the medical interventions, that are often used in pediatric traumatic brain injury

Methods: Application of a realist synthesis, through a narrative review and the implementation of expert consensus applying Delphi method.

Results: The approach of pediatric traumatic brain injury in Latin America is quite heterogeneous, that correlates with the lack of evidence available. Nevertheless, there is a consensus in some of the parameters that are consistent with the actual clinical guidelines.

Conclusions: Nowadays, there is a notorious lack of evidence in the medical management of pediatric traumatic brain injury, for this reason, is imperative to apply methods like realist synthesis, that allows improve the gaps in the evidence, and in the future allows the creation of standardized protocols in Latin America

Key Words: Traumatic Brain injury, Pediatric, Hyperosmolar Therapy, Sedatives, Fluid Resuscitation

Problema investigación

El neurotrauma es una enfermedad de alta incidencia en la población pediátrica, generalmente asociado a caídas, accidentes caseros, accidentes escolares y accidentes de tránsito. En general 10-15% de los traumas craneoencefálicos se clasifican como severos asociados a una tasa de mortalidad variable, dependiendo de los recursos disponibles en el sitio de atención, que puede ir de un 20 hasta aproximadamente un 70%, siendo más común en el sexo masculino que en el femenino con una relación de 3:2 respectivamente(1).

Actualmente se ha observado que los tipos de neurotrauma y el mecanismo de lesión difiere respecto al grupo de edad y al grado de desarrollo, según el Centers for Disease Control and Prevention de los Estados Unidos (CDC), las caídas son el mecanismo de trauma más común; reportandose muertes asociadas para los distintos grupos de edad de 5.7 por cada 100.000 niños de 0 a 4 años, 3.1 por cada 100.000 niños de 5 a 9 años, 4.8 por cada 100.000 niños de 10 a 14 años y 24.3 por cada 100.000 adolescentes de 15 a 19 años(1).

En Colombia no hay datos del todo claros sobre cuál es la incidencia del neurotrauma pediátrico, sin embargo, se reconoce que es un problema en ascenso, existiendo pocos estudios realizados en centros de referencia de trauma del país. Un estudio realizado en Valledupar, César, tipo observacional descriptivo, retrospectivo, donde se analizaron 34 pacientes ingresados a Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) por trauma craneoencefálico(2). En este estudio el 67,7% de los casos fueron pacientes pediátricos de sexo masculino y 32.3% pacientes pediátricos femeninos, teniendo una relación de 2:1, donde el mecanismo de trauma más frecuente fueron los accidentes de tránsito con un

62%, seguidos por caídas con un 26%, traumas secundarios a objetos contundentes con un 9%, y por último de causa desconocida en un 3% de los casos(2).

Un estudio prospectivo no aleatorizado realizado en Medellín, Colombia en un servicio de urgencias pediátricas de tercer nivel, entre junio de 2003 y noviembre de 2004, buscaba encontrar una relación entre la incidencia del trauma craneoencefálico y las características sociodemográficas de la población(3). Se tomaron 90 pacientes pediátricos entre 1 a 5 años, donde el 64.4% de los casos fueron pacientes de sexo masculino, curiosamente pertenecientes a estratos socioeconómicos bajos; de estos el 82,2% el principal mecanismo de trauma fue por caídas(3). Adicionalmente se concluyó que en Medellín el trauma craneoencefálico era una de las principales causas de muerte en personas de 1 a 15 años, y que estaba asociado a un estado socioeconómico bajo; por otra parte cerca del 52% de los pacientes que sobrevivieron tenían secuelas neurológicas al egreso y requerían largas y costosas terapias de rehabilitación(3).

Para el tratamiento del neurotrauma pediátrico, existen múltiples intervenciones. Pudiéndose dividir en intervenciones en médicas y quirúrgicas. Dentro de las intervenciones médicas se encuentra el uso terapéutico de sedantes, analgésicos y bloqueantes neuromusculares, terapia hiperosmolar, hiperventilación, barbitúricos, hipotermia, corticoesteroides, anticonvulsivantes y terapia nutricional(4). Entre las intervenciones quirúrgicas se encuentran el drenaje de líquido cefalorraquídeo y la craniectomía descompresiva(4).

Tomando como referencia las guías de la Brain Trauma Foundation (BTF) para el manejo del trauma craneoencefálico severo en pacientes pediátricos del año 2019, encontramos propuestas como opciones terapéuticas: Craniectomía descompresiva, hipotermia, terapia hiperosmolar, drenaje de líquido cefalorraquídeo, hiperventilación, uso de anestésicos, analgésicos y sedantes, esteroides, nutrición, y profilaxis anticonvulsivante(5,6).

Al analizar las opciones terapéuticas planteadas por la guía de práctica clínica de la BTF, y acorde al protocolo de manejo postulado en la misma, surge la iniciativa de realizar una revisión de la literatura junto con la necesidad de realizar un consenso de expertos, debido a los bajos niveles de evidencia con el que cuentan en su mayoría las intervenciones. A pesar de que la terapia hiperosmolar es una de las intervenciones consideradas de primera línea en el contexto de un neurotrauma severo, siendo efectivo en la reducción de la presión intracraneal (PIC), esta no cuenta con una recomendación de Nivel I(6). Por otra parte, el uso de sedantes y bloqueantes neuromusculares, que también se encuentran dentro del algoritmo de manejo inicial, no cuentan con la evidencia disponible necesaria para brindar una recomendación de Nivel I(6).

Un aspecto fundamental en el abordaje de un neurotrauma severo, es la reanimación volumétrica, la cual requiere una serie de consideraciones especiales acordes a la población pediátrica para que sea óptima y efectiva, actualmente no existe actualmente evidencia suficiente sobre si la reanimación volumétrica en población pediátrica requiere alguna consideración especial en el contexto de un neurotrauma severo. Debido a lo previamente expuesto se considera indispensable enfocar la

presente revisión en estas tres intervenciones, basándose específicamente en la evidencia expuesta por las guías de la BTF del año 2019.

En el abordaje inicial en general de un paciente traumatizado comprende como parte de la reanimación el uso de líquidos endovenosos, con el objetivo de restituir la estabilidad hemodinámica del paciente. Sin embargo, existe un interrogante debido a la falta de evidencia sobre que tipo de líquido es superior a otro sobretodo dentro del subgrupo de los de tipo isotónico. En un pequeño grupo de estudios se ha intentado comparar las diferencias entre la composición y concentración de los líquidos endovenosos, y cuales llegarían a ser los ideales para el contexto de un trauma. No obstante, la información disponible acerca de esta intervención es escasa, sobre todo en el contexto de un neurotrauma severo(5).

La terapia hiperosmolar actualmente es una intervención considerada dentro de las opciones de primera línea, esta ha sido utilizada ampliamente a lo largo del tiempo para el manejo de la hipertensión endocraneana(5). Para esta intervención se pueden utilizar dos agentes (Solución salina hipertónica y Manitol), siendo la solución salina hipertónica a una concentración al 3%, cuenta con una recomendación de Nivel II para el manejo agudo y Nivel III para su empleo en infusión continua(6).

El uso de anestésicos, analgésicos y sedantes es frecuente en el manejo del neurotrauma severo, su importancia radica en que logran disminuir el metabolismo cerebral y el requerimiento de oxígeno

cerebral, lo cual pueden llegar a ser un estado neuroprotector; sin embargo, no son inocuos y presentan una serie de efectos secundarios pueden que tienen impacto en la estabilidad hemodinámica del paciente. Esta intervención forma parte del grupo de intervenciones iniciales en neurotrauma severo, con una recomendación Nivel III, debido a la escasez de datos, las indicaciones, agentes de elección y dosificación por lo general radican en la preferencia del clínico(6).

Debido a que actualmente los la falta de evidencia no permite crear a una recomendación específica para un determinado grupo de intervenciones, existen estudios clínicos recientes y en desarrollo que buscan determinar los niveles de evidencia de cada una de las intervenciones propuestas, como el ADAPT Trial que busca llenar vacíos de evidencia en el neurotrauma severo, el cual es expuesto por la guía de la BTF de año 2019 como uno de los más prometedores(6). A su vez no existen en la actualidad consensos claros y específicos enfocados a esta temática que puedan darle al clínico un adecuado nivel de evidencia sobre cada intervención. Por lo tanto, es necesario aplicar una síntesis realista del problema que busque entender, si una intervención funciona o no, y si su resultado es dependiente del contexto clínico, la cual se explicará en el apartado correspondiente a la metodología.

Realizando una revisión de la literatura que se encuentra disponible en las bases de datos con revistas indexadas, resulta evidente en la búsqueda preliminar la escasa cantidad de revisiones sistemáticas que aborden de manera objetiva e integral el problema con énfasis en las intervenciones médicas propuestas y un nivel de evidencia científica asociada, evitando que el lector, pueda encontrar un punto de referencia base, para generar propuestas de manejo clínico con mayor facilidad.

En la búsqueda preliminar se encontraron artículos y revisiones que abordaban de manera general los aspectos del neurotrauma pediátrico, partiendo desde características de la población, epidemiología fisiopatología del trauma, tipos de neurotrauma y principios básicos del tratamiento(1,4). Posteriormente se encontró una revisión que expone las diferencias anatómicas de la población pediátrica y adulta que presentan un neurotrauma y cómo estas diferencias influyen en el manejo, junto con este se encontró un estudio que comparó las diferencias en las metas de tratamiento en niños con neurotrauma; también se encontró otra revisión que buscaba dar los principios básicos del manejo inicial y que opciones terapéuticas existen para el neurotrauma pediátrico(7-9).

Posteriormente para complementar el diagnóstico se encontraron dos revisiones enfocadas en el papel que cumplen las neuroimágenes en el neurotrauma pediátrico, una de ellas expone las imágenes diagnósticas ideales y compara su efectividad y el papel que cumplen las neuroimágenes como un predictor de desenlace clínico(10). La segunda revisión realiza una comparación entre las características tomográficas de un neurotrauma pediátrico Vs un neurotrauma en adultos(11). Por último se encontraron revisiones que proponen una herramienta diagnóstica novedosa que busca medir de manera objetiva la magnitud de la lesión tisular secundaria al trauma, en estas revisiones se expone el papel que cumplen los biomarcadores y estudios genéticos en el neurotrauma pediátrico y cómo estos influyen en el desenlace y en el pronóstico; en uno de ellos se expone un estudio con un biomarcador específico y como su identificación se relaciona con la magnitud de lesión tisular y el pronóstico(12,13).

En cuanto al tratamiento se encontró una revisión enfocada en el monitoreo y manejo de la hipertensión endocraneana en pacientes con neurotrauma pediátrico(14). Por último se encontró un revisión de la guía del año 2012 de neurotrauma pediátrico de la BTF, en la cual se hace una revisión de cómo ha cambiado el manejo del neurotrauma desde el año 2000 hasta las guías del año 2012(15). Respecto a guías clínicas de manejo se encontraron las guías de la Brain Trauma Foundation de población pediátrica con neurotrauma severo del año 2012 Y 2019 (5,6); guías Italianas de evaluación y manejo de neurotrauma pediátrico en el servicio de urgencias del año 2018; por último, las guías NICE de neurotrauma en población pediátrica y adultos del año 2014(16,17).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se tendrán en cuenta tres de las intervenciones médicas, las cuales debido a su importancia en las actuales guías de manejo de la BTF, y que representan el grupo de de intervenciones más usadas y debatidas para el abordaje clínico inicial de un neurotrauma pediátrico. Se expondrá cuál es la más relevante teniendo en cuenta el nivel que tenga de evidencia basado en las recomendaciones de la guías de práctica clínica. Las intervenciones a revisar son:

1. Reanimación volumétrica.
2. Terapia Hiperosmolar.
3. Sedación profunda

Preguntas de investigación: formato PICO

1. ¿En pacientes con neurotrauma pediátrico la reanimación volumétrica con solución salina isotónica comparada con solución salina hipertónica, afecta el desenlace clínico?

2. ¿En pacientes con neurotrauma pediátrico la terapia hiperosmolar con manitol comparada con solución salina hipertónica, afecta el desenlace clínico?
3. ¿En pacientes con neurotrauma pediátrico el usar o no sedación profunda afecta el desenlace clínico?

Objetivos

Objetivo general:

1. Elaborar una síntesis realista sobre las 3 intervenciones médicas más usadas en neurotrauma pediátrico.

Objetivos específicos:

1. Describir y analizar los niveles de evidencia científica publicados en literatura biomédica para las 3 intervenciones médicas más usadas en neurotrauma pediátrico.
2. Determinar la asociación existente entre las intervenciones basado en las publicaciones de revistas biomédicas sobre las 3 intervenciones y el desenlace clínico de los pacientes pediátricos con neurotrauma.
3. Desarrollar un consenso de expertos para discutir los vacíos en la literatura biomédica y proponer intervenciones basadas en la evidencia existente y aún donde no exista evidencia.

Metodología:

Inicialmente definimos en esta revisión a la población pediátrica como el grupo poblacional que va desde los 0 meses hasta los 17 años 11 meses y 30 días. En cuando a desenlace clínico, este comprende la efectividad de la intervención en reducir la mortalidad y la necesidad de utilizar otras intervenciones de manera sinérgica en el contexto de un neurotrauma severo.

Se realizará una síntesis realista aplicando inicialmente una revisión no sistemática de la literatura, que permita construir una narrativa, y posteriormente se aplicará el método Delphi específicamente sobre las tres intervenciones médicas más usadas en neurotrauma pediátrico. Se plantearon inicialmente los filtros de búsqueda a utilizar previo a acceder a cualquier base de datos, los filtros a utilizar inicialmente son: tipo de artículo revisiones sistemáticas, meta análisis, estudios clínicos aleatorizados tipo III y tipo IV en humanos, filtro desde el año 2008, artículos en inglés y español, y estudios en población pediátrica.

Los términos de búsqueda iniciales fueron obtenidos por el descriptor MeSH:

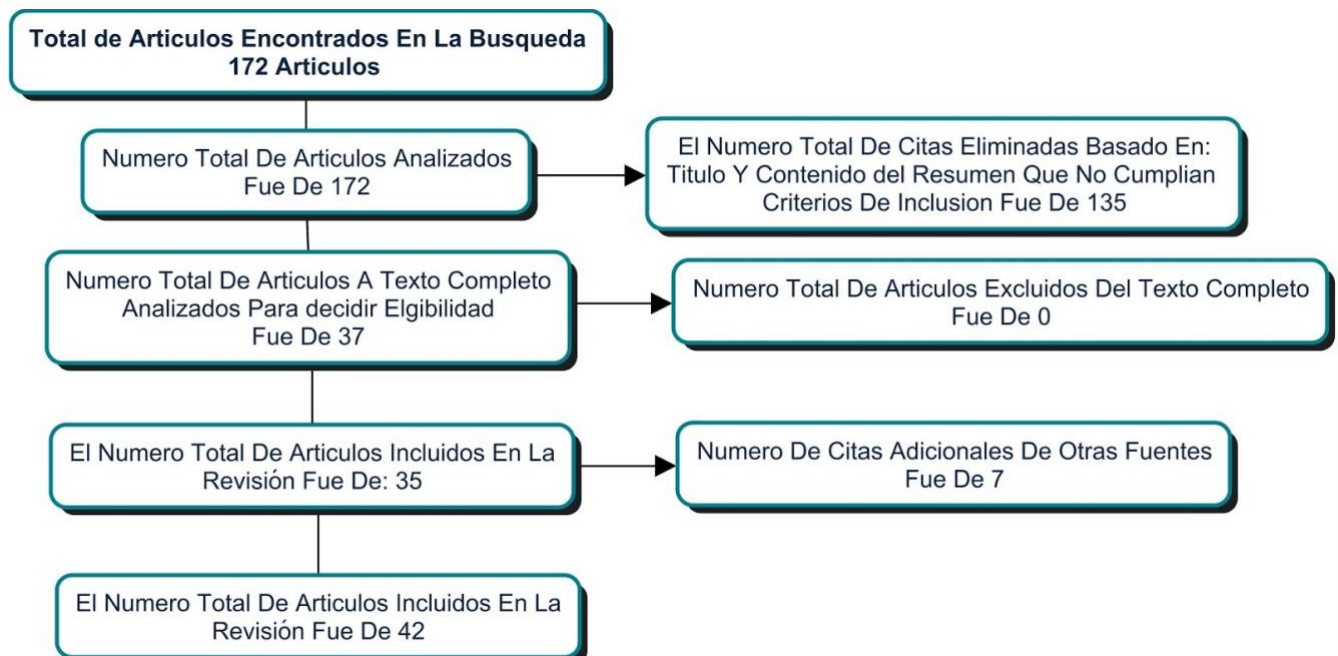
((("Child"[Mesh]) AND "Adolescent"[Mesh]) AND "Infant"[Mesh]) AND "Brain Injuries, Traumatic"[Mesh] Filters: 10 years, Humans.

((("brain injuries, traumatic"[MeSH Terms] OR ("brain"[All Fields] AND "injuries"[All Fields] AND "traumatic"[All Fields]) OR "traumatic brain injuries"[All Fields] OR ("traumatic"[All Fields] AND "brain"[All Fields] AND "injury"[All Fields]) OR "traumatic brain injury"[All Fields]) AND ("child"[MeSH Terms] OR "child"[All Fields] OR "children"[All Fields]) AND ("Eur J Mech B

Fluids"[Journal] OR "fluids"[All Fields])) AND ("2009/04/28"[PDat] : "2019/04/25"[PDat] AND "humans"[MeSH Terms])

((("brain injuries, traumatic"[MeSH Terms] OR ("brain"[All Fields] AND "injuries"[All Fields] AND "traumatic"[All Fields]) OR "traumatic brain injuries"[All Fields] OR ("traumatic"[All Fields] AND "brain"[All Fields] AND "injury"[All Fields]) OR "traumatic brain injury"[All Fields]) AND ("child"[MeSH Terms] OR "child"[All Fields] OR "children"[All Fields]) AND ("hypnotics and sedatives"[Pharmacological Action] OR "hypnotics and sedatives"[MeSH Terms] OR ("hypnotics"[All Fields] AND "sedatives"[All Fields]) OR "hypnotics and sedatives"[All Fields] OR "sedatives"[All Fields])) AND ("2009/04/28"[PDat] : "2019/04/25"[PDat] AND "humans"[MeSH Terms]))

Flujograma estrategia de búsqueda:



Las bases de datos a consultar fueron PubMed, Embase, Cochrane Systematic Reviews y Scielo, en las cuales se aplicaron los filtros de búsqueda previamente mencionados. Adicionalmente se tomaron como referencia las guías de la Brain Trauma Foundation de neurotrauma pediátrico severo del año 2019, las guías NICE de trauma craneoencefálico de diagnóstico y manejo del año 2014 y las guías Italianas de neurotrauma pediátrico de la Sociedad Italiana de Pediatría del año 2018(6,16,17).

Dentro de las limitaciones y potenciales sesgos de esta revisión, se encuentran: La falta de estudios clínicos aleatorizados sobre las tres intervenciones a evaluar en esta revisión. Con el método Delphi se puede presentar sesgo durante el ejercicio del consenso por direccionamiento o inducción a las respuestas entre los participantes. Los expertos que fueron consultados a pesar de ser de distintos países de Latinoamérica, pueden no representar en su totalidad el espectro de manejo en cada uno de sus países. Adicionalmente su experiencia personal puede generar opiniones inducidas por la experiencia.

¿Qué es una síntesis realista?

La necesidad de hacer una síntesis realista y no quedarse simplemente en una revisión sistemática, radica en la necesidad de ir un poco más de una revisión de la literatura, y por medio del método Delphi, lograr obtener información, sobre qué intervenciones prefieren los expertos actualmente y comparar si siguen las recomendaciones de las guías actuales y si hay un consenso entre estos. La síntesis realista se trata de un abordaje de revisión y síntesis de la evidencia, la cual se enfoca

en entender los mecanismos por los cuales una intervención médica funciona o no(18). A su vez permite responder la pregunta de qué intervenciones y estrategias son efectivas en relación con la evidencia propuesta dependiendo del contexto clínico en el que se encuentre el profesional de la salud(18).

Por lo tanto la metodología de la síntesis busca identificar los mecanismos causales subyacentes y explorar cómo funcionan y bajo qué condiciones lo hacen, por tal motivo la síntesis realista se divide en etapas, que buscan un análisis concreto de la evidencia, extracción y síntesis de la misma al igual que el desarrollo de una narrativa, la cual incluye una hipótesis(18).

Etapas de la síntesis realista:

1. Definición del ámbito de revisión: Da la estructura y marco de referencia para examinar y sintetizar la evidencia(18). El reto de este punto se trata en encontrar un nivel de abstracción que permita a los investigadores evaluar en detalle la variabilidad de la evidencia; para una síntesis realista la intervención misma es una teoría(18).
2. Búsqueda de la evidencia científica a través de una revisión de la literatura: Se toma como referencia emplear una revisión de la literatura con los mismos parámetros de una revisión sistemática(18).
3. Extracción de resultados y síntesis de los hallazgos: Se evalúa la viabilidad y funcionalidad de los datos extraídos y organizarlos según su relevancia, ésta se determina por medio de opiniones

y discusiones con los demás autores de la revisión, teniendo en cuenta el parámetro de que la relevancia va guiada por la pregunta de investigación y cómo de manera particular la evidencia obtenida responde o no a esta(18)

La síntesis de los hallazgos va a determinar que funciona, por quién y bajo qué circunstancias(18).

La síntesis realista va a tener unos principios, son los siguientes: Organización de información encontrada, tematización por parte de los investigadores, comparación de los temas de los investigadores para un artículo específico y formulación de cadenas de inferencia de temas identificados, unión de cadenas de inferencia e identificación de relación entre artículos, por último hipótesis de formulación(18).

Se tiene en cuenta entonces que la cadena de inferencia se define como una conexión que puede ser realizada entre los artículos basados en los temas identificados(18).

4. Desarrollo de una narrativa a través de la generación de una hipótesis ligada a la temática, incluyendo cadenas de inferencias sobre artículos encontrados: La narrativa se organiza de acuerdo a la hipótesis generada, con la información de cada tema recolectado para la elaboración del artículo. Por lo tanto, la narrativa se desarrolla alrededor de la hipótesis(18).

La síntesis realista da por sí misma, un nivel de complejidad a la revisión y las intervenciones revisadas, ya que tiene en cuenta el contexto, así como los resultados en el proceso de la revisión de la literatura(18). Por último para el desarrollo de la síntesis realista se van a consultar expertos en

neurocirugía pediátrica de Latinoamérica pertenecientes a la Federación Latinoamericana De Sociedades De Neurocirugía (FLANC), con el fin de identificar si existe alguna diferencia entre el abordaje realizado en esta parte del continente comparado con las recomendaciones de las guías de la BTF del año 2019.

Respecto a criterios éticos, teniendo en cuenta la legislación Colombiana, debido a que en esencia se va a realizar una revisión de la literatura, esta no requiere un comité de ética, debido a que no se realizarán intervenciones en pacientes.

¿En qué consiste el método Delphi?

El método Delphi es un método de investigación cualitativo, que se basa en la recolección de datos aportados por expertos, que permitan obtener un consenso sobre una temática determinada; fue creado en Santa Mónica, Estados Unidos en el año 1951, para investigación del impacto de la tecnología en la guerra(19). El método tiene como propósito utilizar la experticia de un panel para predecir o aportar cómo se comporta un fenómeno determinado, se puede llegar a esta conclusión por medio de un método prospectivo o transversal(19).

De manera general es una técnica, que emplea la recolección de información proveniente de la opinión de un grupo de expertos, por medio de una consulta, como se mencionó previamente es de carácter cualitativo(20). Su uso es recomendable cuando no se dispone de información suficiente para la toma de decisiones, con el objetivo de recoger opiniones consensuadas de un conjunto de individuos.

Dentro de las áreas de aplicación de este método se encuentran temáticas de salud, educación y administración(20).

En el área de la salud ha sido utilizado ampliamente para obtener información en temas donde es imposible o muy complejo acceder directamente a la información o cuando la evidencia es insuficiente, no publicada, excesiva o controvertida y requiere la intervención de expertos; básicamente el método Delphi contrasta y combina opiniones(19,21).

Este es un método muy versátil, debido a que utiliza la información que proviene tanto de la experiencia como de los conocimientos de los participantes del panel, a pesar de que existe una única metodología con este nombre(20). Sus usos son muy diversos, como en situaciones de incertidumbre o cuando se carece información objetiva, donde un juicio de experto aumente la fiabilidad sobre un tópico determinado, este supera los sesgos y limitaciones de un solo individuo y permite basarse en un juicio intersubjetivo(20).

Adicionalmente permite determinar puntos de acuerdo, nivel de consenso y jerarquización de su trascendencia, se puede distribuir en categorías dentro de un mismo problema, en función de su importancia (Mucha o poca) y de su consenso (Mayoritario escaso)(20).

Teniendo en cuenta la anterior esta metodología recolecta de manera sistemática juicios de expertos sobre una problemática, procesa la información por medio de recursos estadísticos, para construir un consenso grupal(19,21). Este método se rige por unos principios básicos, los cuales son:

1. Es un proceso iterativo que requiere la realización de rondas sucesivas de consultas para que los expertos revisen sus opiniones en varias oportunidades, para la consulta se utiliza un cuestionario muy formal y estructurado(19,20).
2. Requiere retroalimentación controlada donde los expertos reciben las opiniones de todos los participantes antes de cada ronda, para contrastar su opinión con el resto del grupo, y de tal manera permita la creación de otra ronda, en caso de que sea requerido(19,20).
3. Anonimato de respuestas individuales, el cual no se emplea de manera arbitraria, a pesar de que entre los expertos pueden conocerse, estos no identifican que dice cada uno, esta es una de las principales ventajas, ya que minimiza las posibilidades de sesgo derivados del prestigio o liderazgo de alguno de los participantes(19,20).
4. Respuesta estadística del grupo, se realiza una tendencia basado en las respuestas obtenidas, adicionalmente la retroalimentación de cada ronda se brinda en valores estadísticos (Ej: Porcentajes)(20). Todo esto en conjunto permitirá la construcción de un consenso que resalte las diferencias y coincidencias entre las opiniones individuales y sus modificaciones a través de las rondas(19,20).

Dentro de las ventajas se encuentra la recolección y síntesis del conocimiento de los expertos, participación de individuos que ejercen en distintos contextos y áreas, y favorece la libertad de opinión(19). El término Delphi modificado corresponde a que los expertos se reúnen cara a cara para realizar el consenso, no existen actualmente requisitos estandarizados o universales para el Delphi(19).

Los pasos que comprende son:

1. Selección de los expertos: no existe una regla al respecto, estudios realizados por Rand Corporation, la organización que inventó el método, recomienda que el panel debe ser de mínimo 7 expertos y no mayor de 30.(19)
2. Preparación del instrumento: es el documento que será sometido a consideración de los expertos, el denominado cuestionario, que tendrá una serie de preguntas iniciales, para crear la primera ronda de consulta, estas preguntas deben ser precisas, cuantificables e independientes; pueden ser de tipo de respuesta excluyente (si o no), de ponderación (forma ascendente-descendente), o abiertas(19).
3. Vía de consulta: en la actualidad es muy frecuente su uso vía correo electrónico aplicando el Delphi clásico, pero con el Delphi modificado se permite realizar el consenso de manera presencial(19).
4. Rondas de consulta: se deben realizar todas las que sean necesarias hasta llegar al consenso, por medio de una retroalimentación, generalmente se realizan 2 o 3 rondas(19). La primer ronda debe ir con una presentación breve que incluya los objetivos, y precisiones sobre el tema a evaluar. La segunda ronda incluye la retroalimentación de las respuestas del panel en la ronda anterior, donde se pide que el experto reevalúe su respuesta teniendo en cuenta la opinión del resto(19). La tercera ronda tiene como objetivo disminuir la dispersión y aumentar la convergencia de las opiniones(19).
5. Análisis estadístico: debe utilizar medidas estadísticas de tendencia central y de dispersión (media, moda, mediana, mínimo, máximo, etc), también se puede utilizar una medida porcentual(19).

6. Retroalimentación de resultados: en cada ronda se le entrega al experto el cuestionario con su respuesta anterior acompañado del análisis de la respuesta grupal. Debe garantizarse la comprensión de estos valores por todo el panel para que se pueda llegar a un correcto consenso. También se puede realizar de manera cualitativa informando sobre las respuestas y comentarios de los participantes.(19)
7. Construcción del consenso: el acuerdo general es el objetivo final del método Delphi(19).
8. Reporte de resultados: el informe final debe ser preciso en cuanto a la descripción del proceso que llevó al consenso(19).

La manera en la cual se realizará el el consenso de expertos, será por medio de la aplicación del método Delphi para, se llevará a cabo de manera presencial, aplicando el concepto de Delphi modificado. Antes del evento, vía correo electrónico se compartirá con los participantes material bibliográfico correspondiente a la temática, el cual deberán revisar como prerequisite para participar en el consenso. Se realizará una encuesta de tipo respuesta de selección múltiple, correspondiente a cada una de las intervenciones, y posteriormente se realizará discusión sobre aquellas preguntas a las cuales no se logró llegar a un consenso. Esto realizará durante el VIII Congreso Latinoamericano De Neurocirugía Pediátrica, que tendrá lugar en San José, Costa Rica del 02-04 de Mayo de 2019.

La selección de los expertos fue hecha por medio de los posibles asistentes al evento en el que se realizaría el consenso, que como prerequisite debían ser neurocirujanos pediátricos, en total se contará con la participación de doce expertos, provenientes de países como: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Guatemala, México y Perú.

A continuación se adjuntan las preguntas a realizar durante el consenso correspondientes a las tres intervenciones en cuestión, formuladas acorde a lo encontrado en la literatura:

Preguntas para aplicar método Delphi

Reanimación volumétrica

1. ¿Considera usted que el mecanismo del trauma determina el líquido endovenoso de elección para el abordaje del neurotrauma?

A. Si B. No

2. Respecto al uso de líquidos endovenosos en la reanimación, considera usted que el tipo de agente de elección son:

A. Isotónicos B. Hipertónicos C. Hipotónicos

3. Considera usted que el agente de elección para la reanimación volumétrica debería ser:

A. SSN 0.9% B. Lactato de Ringer

4. ¿Considera usted que la severidad del trauma afecta la elección del líquido endovenoso?

A. Si B. No

5. ¿Considera que la efectividad de la reanimación en pacientes con neurotrauma severo podría ser medida mediante la monitorización de:

A. Tensión Arterial B. PIC C. GCS d. Otras

6. ¿Considera usted que el uso de solución pediátrica dextrosada en el manejo

del trauma agudo es necesaria?

A. Si B. No

Sedación profunda

1. ¿Concuerda usted en que los barbitúricos deben ser utilizados como medicamentos de segunda línea para el manejo de la PIC?

A. Si B. No

2. ¿Considera usted que son más las complicaciones y limitaciones al usar técnicas de sedación profunda que los beneficios?

A. Si B. No

3. ¿Considera usted a los barbitúricos un grupo farmacológico apto para su uso rutinario en el ámbito del neurotrauma pediátrico?

A. Si B. No

4. ¿Está usted de acuerdo con la siguiente afirmación: La sedación profunda, o bien el uso de anestésicos, analgésicos y sedantes, es un procedimiento que aún carece de evidencia definitiva como para usarse de manera rutinaria?

A. Si B. No

5. ¿Pese a las limitaciones en la evidencia científica considera provechoso el uso de los sedantes y anestésicos en éste contexto?

B. Si B. No

6. ¿Encuentra adecuado el uso de benzodiacepinas en el ámbito de urgencias al manejar un neurotrauma pediátrico?

A. Si B. No

7. ¿Considera benéfico el uso de relajantes musculares en el manejo del neurotrauma pediátrico?

A. Si B. No

8. ¿Prefiere usted utilizar este grupo de medicamentos antes de llegar a un manejo quirúrgico?

A. Si B. No

Terapia hiperosmolar

1. ¿Respecto al uso de agentes hiperosmolares, ¿considera usted que son la intervención de primera línea para el manejo de la hipertensión Endocraneana?

A. Si B. No

2. ¿En el contexto de un paciente hemodinámicamente inestable, usted prefiere el uso de solución salina hipertónica, en lugar del manitol?

A. Si B. No

3. ¿En el contexto de un paciente hemodinámicamente estable, usted prefiere utilizar manitol por encima de solución salina hipertónica?

A. Si B. No

4. ¿Considera usted que el seguimiento continuo de la osmolalidad plasmática es

fundamental durante la terapia hiperosmolar?

A. Si B. No

5. ¿Considera usted que el uso de terapia hiperosmolar por si sola logra reducir la presión intracraneana de manera más efectiva comparado con el uso conjunto de otras intervenciones médicas.

A. Si B. No

6. ¿Respecto a la solución salina hipertónica prefiere su uso en una concentración al:

a. 3% b. 7.5% c. 20% d. OTRAS

7. ¿Considera usted que el manitol es un agente que ya no debe utilizarse en el manejo del neurotrauma pediátrico severo?

A. Si B. No

Bibliografía

- (1) Kannan N, Ramaiah R, Vavilala MS. Pediatric neurotrauma. International journal of critical illness and injury science 2014 Apr;4(2):131.
- (2) Romero-Rivera Hector Rolando, Calderon-Miranda Willem Guillermo, Rubiano Andres M, Cabeza-Morales Marticela, Alcala-Cerra Gabriel, Calderon-Miranda Willem, et al. Trauma Craneoencefálico Pediátrico En Un Centro De Referencia De Trauma En La Ciudad De Valledupar, Colombia
. Neurociencias En Colombia 2015 Marzo;Numero 1(Volumen 22):57-65.
- (3) Arango Soto D, Cornejo Ochoa W, Montes Gallo A, Quevedo Velez A. Epidemiologia del trauma encefalocraneano (TEC) en 90 lactantes mayores y preescolares atendidos en un servicio de urgencias pediatricas de tercer nivel, en Medellin, Colombia. Iatreia 2008 Sep 1,;21(3):271.
- (4) Takashi A, Hiroyuki Y, Akio M. Pediatric Traumatic Brain Injury : Characteristic Features, Diagnosis, and Management. Neurologia medico-chirurgica 2017;57(2):82-93.
- (5) Kochanek PM, Carney N, Adelson PD, Ashwal S, Bell MJ, Bratton S, et al. Guidelines for the acute medical management of severe traumatic brain injury in infants, children, and adolescents second edition. Pediatric critical care medicine : a journal of the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies 2012 Jan;13 Suppl 1:S2.
- (6) Kochanek PM, Tasker RC, Carney N, Totten AM, Adelson PD, Selden NR, et al. Guidelines for the Management of Pediatric Severe Traumatic Brain Injury, Third Edition: Update of the Brain Trauma Foundation Guidelines, Executive Summary. Pediatric critical care medicine : a journal of the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies 2019 Mar;20(3):280-289.

- (7) Figaji AA. Anatomical and Physiological Differences between Children and Adults Relevant to Traumatic Brain Injury and the Implications for Clinical Assessment and Care. *Frontiers in Neurology* 2017 Dec 14,.
- (8) Bell MJ, Adelson PD, Hutchison JS, Kochanek PM, Tasker RC, Vavilala MS, et al. Differences in medical therapy goals for children with severe traumatic brain injury-an international study. *Pediatric critical care medicine : a journal of the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies* 2013 Oct;14(8):811.
- (9) Chong S, Lee KP, Lee JH, Ong GY, Ong MEH. Pediatric head injury: a pain for the emergency physician? *Clinical and Experimental Emergency Medicine* 2015 Mar 31,;2(1):1-8.
- (10) Suskauer SJ, Huisman, Thierry A G M. Neuroimaging in pediatric traumatic brain injury: current and future predictors of functional outcome. *Developmental disabilities research reviews* 2009;15(2):117-123.
- (11) Sarkar K, Keachie K, Nguyen U, Muizelaar JP, Zwienenberg-Lee M, Shahlaie K. Computed tomography characteristics in pediatric versus adult traumatic brain injury. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics* 2014 Mar;13(3):307-314.
- (12) Karin Reuter-Rice, Julia K Eads, Suzanna Boyce Berndt, Ellen Bennett. State of the Science of Pediatric Traumatic Brain Injury. *Annual Review of Nursing Research* 2015 Jan 1,;33:185.
- (13) Haqqani AS, Hutchison JS, Ward R, Stanimirovic DB. Protein Biomarkers in Serum of Pediatric Patients with Severe Traumatic Brain Injury Identified by ICAT–LC-MS/MS. *Journal of Neurotrauma* 2007 Jan;24(1):54-74.
- (14) Kukreti V, Mohseni-Bod H, Drake J. Management of raised intracranial pressure in children with traumatic brain injury. *Journal of pediatric neurosciences* 2014 Sep;9(3):207.

- (15) Bell MJ, Kochanek PM. Pediatric traumatic brain injury in 2012: the year with new guidelines and common data elements. *Critical care clinics* 2013 Apr;29(2):223.
- (16) Da Dalt L, Parri N, Amigoni A, Nocerino A, Selmin F, Manara R, et al. Italian guidelines on the assessment and management of pediatric head injury in the emergency department. *Italian journal of pediatrics* 2018 Jan 15;44(1):7.
- (17) Fiona Lecky, Mukul Agarwal, Robin Clarke, Barbara Green, Kiera Hogarth, Peter Hutchinson, et al. Head injury: triage, assessment, investigation and early management of head injury in children, young people and adults (NICE guideline CG176)
. 2014 January.
- (18) Rycroft-Malone J, McCormack B, Hutchinson AM, DeCorby K, Bucknall TK, Kent B, et al. Realist synthesis: illustrating the method for implementation research. *Implementation science : IS* 2012;7(1):33.
- (19) García Valdés M, Suárez Marín M. El método Delphi para la consulta a expertos en la investigación científica. *Revista Cubana de Salud Pública* 2013 Jun 1;39(2):253-267.
- (20) Reguant Álvarez M, Torrado Fonseca M. El método Delphi. 2016 Feb 15,.
- (21) Hohmann E, Cote MP, Brand JC. Research Pearls: Expert Consensus Based Evidence Using the Delphi Method. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery* 2018 Dec;34(12):3278-3282.

Marco teórico

El neurotrauma es una enfermedad de alta incidencia en la población pediátrica, generalmente asociado a caídas, accidentes caseros, accidentes escolares y accidentes de tránsito. En general 10-15% de los traumas craneoencefálicos se clasifican como severos asociados a una tasa de mortalidad variable, dependiendo de los recursos disponibles en el sitio de atención, que puede ir de un 20 hasta aproximadamente un 70%, siendo más común en el sexo masculino que en el femenino con una relación de 3:2 respectivamente(1).

Reflejo del aumento en la incidencia son el aproximadamente medio millón de ingresos al servicio de urgencias de pacientes menores de 14 años según estudios Estadounidenses(2). Pero no solo son estudios Norteamericanos son los que muestran la este notorio aumento en la incidencia, ya que incluso instituciones de carácter internacional como la Organización mundial de la Salud (OMS/WHO) estipulan que para el año 2020 el neurotrauma en población pediátrica llegara a superar otras causas de muerte y de incapacidad física en esta población(3).

Actualmente se ha observado que los tipos de neurotrauma y el mecanismo de lesión difiere respecto al grupo de edad y al grado de desarrollo, según el Centers for Disease Control and Prevention de los Estados Unidos (CDC), las caídas son el mecanismo de trauma más común; reportandose muertes asociadas para los distintos grupos de edad de 5.7 por cada 100.000 niños de 0 a 4 años, 3.1 por cada 100.000 niños de 5 a 9 años, 4.8 por cada 100.000 niños de 10 a 14 años y 24.3 por cada 100.000 adolescentes de 15 a 19 años(1).

En Colombia no hay datos del todo claros sobre cuál es la incidencia del neurotrauma pediátrico, sin embargo, se reconoce que es un problema en ascenso, existiendo pocos estudios realizados en centros de referencia de trauma del país. Un estudio realizado en Valledupar, César, tipo observacional descriptivo, retrospectivo, donde se analizaron 34 pacientes ingresados a Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) por trauma craneoencefálico(4). En este estudio el 67,7% de los casos fueron pacientes pediátricos de sexo masculino y 32.3% pacientes pediátricos femeninos, teniendo una relación de 2:1, donde el mecanismo de trauma más frecuente fueron los accidentes de tránsito con un 62%, seguidos por caídas con un 26%, traumas secundarios a objetos contundentes con un 9%, y por último de causa desconocida en un 3% de los casos(4).

Se puede definir el neurotrauma como una lesión traumática sobre el parénquima cerebral como de sus estructuras adyacentes, provocando alteraciones causadas por el intercambio de fuerzas, que sobrepasan la resistencia celular del organismo ante un estrés mecánico, culminando en la instauración de procesos inflamatorios, de hipoxia celular y muerte(5).

Además de correlacionarse con el estilo de vida de la población pediátrica (inicio de la coordinación motora, juegos bruscos y deportes de contacto) esta posee características distintivas comparado con el neurotrauma en adultos, dado por diferencias anatómicas y fisiológicas relacionadas con la edad(6-8).

En los últimos años producto de la investigación han aparecido avances en los métodos diagnósticos y terapéuticos, que han permitido optimizar el abordaje tanto médico como quirúrgico.

Sin embargo, es evidente la falta de evidencia al respecto, por lo cual la realización de un consenso respecto a las intervenciones juega un rol fundamental en la construcción de la misma.

Es por esto que en este artículo se aplicará una nueva metodología de investigación denominada síntesis realista, la cual ofrece al lector una síntesis de la evidencia por medio de una revisión de la literatura, que sumado a la opinión de expertos por medio del método Delphi, tiene como objetivo aportar a los vacíos de evidencia actuales. Este trabajo se enfocará principalmente sobre las tres intervenciones médicas más usadas en neurotrauma pediátrico: reanimación volumétrica, terapia hiperosmolar y sedación profunda.

Población pediátrica

La población pediátrica se encuentra bajo un desarrollo morfológico y funcional, es decir que si bien muchos de los órganos y estructuras son similares a las del adulto, muchas difieren en funcionamiento y maduración(9). Comúnmente se conoce que el metabolismo cerebral tiene como principal fuente de energía a la glucosa, sin embargo estudios han demostrado, que incluso el metabolismo cerebral puede variar a medida que el sistema nervioso (SN) se va desarrollando(10).

Por tal motivo al momento de hablar sobre neurotrauma pediátrico, resulta indispensable esclarecer algunos conceptos de la fisiológicos y anatómicos sobre este grupo poblacional(6,9,11). Sin embargo, cabe resaltar, que los estudios en población pediátrica son mucho más escasos que en adultos, motivo por el cual en ocasiones resulta necesario extrapolar estudios existentes en adultos a esta población(9).

Fisiología y morfología:

El flujo sanguíneo cerebral se mantiene a un nivel constante por efecto de la presión arterial media (PAM), en valores de 60-150 mmHg por un efecto de autorregulación. Por otra parte la presión de perfusión cerebral (PPC), es el gradiente de presión que atraviesa los vasos cerebrales, y este es calculado por medio de: $(PAM - PIC)(8)$.

La PaO_2 y la $PaCO_2$ afectan el flujo sanguíneo cerebral, por ejemplo la hipercapnia causa vasodilatación cerebral, produciendo un aumento en el flujo sanguíneo cerebral, mientras que la hipocapnia lo reduce; la PaO_2 también produce vasodilatación y aumenta el flujo sanguíneo cerebral, que en presencia de una pérdida de la integridad de la barrera hematoencefálica favorece la génesis de edema vasogénico(8).

La Presión Intracraneal (PIC) posee tres ondas, las cuales son producto de la presión transmitida por el sistema cardiovascular en los tejidos que se encuentran dentro de la bóveda craneana, la primera onda posee el pico más alto, se denomina onda de percusión y corresponde a la transmisión de la presión arterial sistólica; el segundo pico se denomina onda dicrótica, la cual tiene una forma variable y refleja de manera relativa el volumen cerebral, esta se eleva de manera rápida en respuesta a una lesión con efecto de masa (Ej. hematomas y tumores); la tercera se denomina onda de pendiente, la cual está al final de la onda dicrótica, en el contexto de elevación de la PIC, la segunda y tercera onda superan a la primera, asumiendo una morfología triangular(8). Tener en cuenta este principio fisiológico es de suma importancia al momento de interpretar el monitoreo de la PIC.

Cuando se está en presencia de elevación de la PIC de manera prolongada, se producen ondas lentas, las cuales fueron clasificadas por Lundberg:

1. Ondas A: se definen como un aumento dramático de la PIC a niveles de 40-100 mmHg de 5-20 minutos de duración, siempre son patológicas, se acompañan de deterioro neurológico y ocurren en pacientes con autorregulación conservada(8).
2. Ondas B: se definen como oscilaciones rítmicas cada 1-2 minutos con un pico de 20-30 mmHg por encima de la línea de base, se produce debido a los cambios en el tono cerebrovascular y en el volumen sanguíneo cerebral, su presencia indica fallo en la autorregulación(8).
3. Ondas C: se definen como oscilaciones de 4-8 minutos, son de baja amplitud, no son poseen relevancia patológica(8).

Actualmente a la PPC no se le ha brindado un valor mínimo en población pediátrica, sin embargo, se asume que es inferior al valor para adultos, y que este se correlaciona con la edad, se ha observado que valores <40 mmHg se asocian con malos resultados clínicos(8).

Huesos

Cráneo

Durante la infancia el cráneo en proporción la cuerpo es más grande que en la adultez, motivo por el cual a su vez son más frecuentes las lesiones traumáticas, pero no solo. Dependiendo de la edad (entre más pequeño será más evidente) el cráneo es más elástico dada la presencia de las denominadas suturas y fontanelas, una mezcla de tejido cartilaginoso y fibrótico que permitirá con el tiempo la resolución a tejido óseo al igual que permitir un cierto grado de labilidad plástica al cráneo

para poder pasar con mayor facilidad por el canal vaginal; se diferencia también por presentar un mayor grado de plasticidad y deformabilidad, lo que en última instancia le permite tener un mayor grado de resistencia al del adulto dado que su punto de quiebre es más alto. Sin embargo esta plasticidad también se asocia a la mayor facilidad del paciente pediátrico para desarrollar lesiones de los tejidos intracraneales, como desgarros vasculares(11). Con respecto a la Presión Intracraneana resulta fundamental recordar que en parte depende de ésta el desenlace del trauma, relacionándose a su vez con mecanismos secundarios de la lesión(9). Dado lo anterior un paso fundamental es comprender que el límite superior aceptado es 28 cm H₂O O 20.6 mmHg(9).

Vértebras

Las vértebras al igual que el resto del tejido óseo del paciente pediátrico son de menor resistencia que las del adulto, motivo por el cual son más frecuentes las fracturas en el trauma craneoencefálico(11).

Sistema nervioso central:

El tejido nervioso en el paciente pediátrico es más húmedo, posee un grado de hidratación mayor, por lo cual la relación del peso con la cantidad de células es menor que en el adulto, por lo tanto se considera que el tejido posee mayor friabilidad ante el trauma(11).

El metabolismo en el cerebro de los niños es completamente distinto al del adulto en cuanto al gasto de glucosa, inicialmente el cerebro consume aproximadamente un 60% en relación a lo que

consume su homólogo adulto, pero cuando llega a los cinco años puede llegar a consumir hasta un 200% de los valores del adulto hasta irse igualando durante la adolescencia(9,12), lo que representa un cambio en cómo se manejan los procesos de hidratación y nutrición, elementos fundamentales en el cuidado de los pacientes críticos(9).

Meninges:

Durante el periodo fetal precoz surgen dos capas de tejido mesenquimatoso situándose alrededor del encéfalo al igual que de la médula espinal . La capa más externa es a su vez la más gruesa, proveniente del mesodermo forma la duramadre, capa resistente que a su vez también dará las células que formarán los huesos membranosos de la bóveda craneana(9). La capa más interna proveniente de la cresta neural se dividirá más adelante en dos, la más delgada e interna dará la piamadre, la capa que está en contacto íntimo con el tejido nervioso. Por otro lado la capa intermedia dará la aracnoides, por donde pasarán los vasos sanguíneos para el riego y drenaje adecuado. En los espacios creados entre las capas de las pias y la aracnoides se dispondrá el líquido cefalorraquídeo.(9)

Epitelio

Piel

La piel del paciente pediátrico es más delgada que la homónima del adulto, motivo por el cual con menores fuerzas se logra realizar la misma lesión(11).

Musculatura

Cuello

Los pacientes pediátricos jóvenes tienen a éste nivel músculos cervicales más débiles que los del adulto, lo que explica la mayor incidencia de lesiones de la unión cervico-craneal, dado que el soporte lo brindan principalmente ligamentos y no grupos musculares(11).

Columna vertebral

Los niños jóvenes tienen la característica de dejar a cargo a los ligamentos de la estabilidad del cuello a diferencia de la columna, especialmente a nivel cervical, explicando la incidencia de lesiones como las disecciones vasculares asociadas a Trauma Craneoencefálico(11).

Características de población por rango de edad:

Para fines prácticos resulta más sencillo dividir a la población pediátrica en diversos rangos de edad, ya que de ésta manera la comprensión del mecanismo de trauma se puede correlacionar con la presentación clínica permitiendo un diagnóstico y abordaje óptimos. (Ver Tabla 1) (6)

Tabla 1. Características de la población pediátrica por rango de edad

Características de la población por rango de edad	
Recién nacido	• Lesiones relacionadas con la salida del recién nacido por el canal del parto al igual que con los instrumentos obstétricos que asisten el parto. • Las principales causas son: Trauma craneoencefálico por el parto. Hemorragia intracraneal. El hematoma encefálico al igual que el sub galeano
Infante	• Está relacionado a cuidados inadecuados de los infantes al igual que por

	abuso. • Las principales causas son: La lesión craneoencefálica accidental al igual que el trauma craneoencefálico por abuso
Niños pequeños y escolares	• Relacionado con el desarrollo de las habilidades motoras. • La principal causa de trauma en esta población es la accidental.
Adolescentes	• Esta población se caracteriza por una disminución en la prevención y prudencia, deportes de contacto al igual que accidentes de tráfico. • Las principales causas son: Accidentes relacionados con bicicletas y motocicletas y traumas relacionados con los deportes de alto contacto.

Informacion para elaboracion tomada de: Takashi A, Hiroyuki Y, Akio M. Pediatric

Traumatic Brain Injury: Characteristic Features, Diagnosis, and Management. Neurologia medico-chirurgica 2017;57(2):82-93

Diagnóstico y manifestaciones clínicas

Tipos de trauma y manifestaciones clínicas:

Teniendo en cuenta que la población pediátrica es más susceptible al trauma debido a sus características morfológicas y fisiológicas previamente mencionadas. Existe actualmente una alta incidencia de lesiones cerebrales difusas y edema cerebral, donde la complicación más frecuente secundaria al trauma es el aumento de la presión endocraneana(1). El trauma cerebral difuso es el tipo de lesión más común, el cual posee un amplio rango de severidad que va desde concusión hasta lesión axonal difusa y discapacidad permanente(1).

Como se mencionó previamente la funcionalidad del cerebro de la población pediátrica, se encuentra en una serie de cambios constantes y progresivos (neurogénesis, mielinización y

sinaptogénesis), los cuales tienen un impacto importante en el metabolismo cerebral(10). El neurotrauma induce una serie de cambios dinámicos metabólicos y bioquímicos, principalmente una alteración del equilibrio iónico, como respuesta a este se aumenta el requerimiento de energía, lo cual tiene un efecto directo sobre el metabolismo cerebral de glucosa(10).

El efecto del trauma en el metabolismo de glucosa se ve reflejado en la hiperglicemia transitoria que presentan los pacientes con neurotrauma con posterior hipoglicemia acompañada de disminución de ATP, aumento de radicales libres e inhibición de la glicolisis; se ha demostrado que el gasto metabólico de glucosa posterior a un neurotrauma es edad-dependiente, sin embargo, estas diferencias no se han estudiado en humanos(10).

La bóveda craneana está compuesta por tres elementos: cerebro (80%), líquido cefalorraquídeo (10%), y volumen sanguíneo cerebral (10%) tomando en consideración la doctrina Monro-Kellie(8). Por lo tanto cualquier incremento en cualquiera de estos componentes causara movimiento afuera de la bóveda o aumento de la presión dentro de ella, por tal motivo el cerebro tiene ciertos mecanismos compensatorios para mantener una PIC normal, una vez estos mecanismos son superados, cualquier aumento leve en el volumen causara aumentos dramáticos en la PIC(8).

Ya que el aumento de la PIC causado por el trauma es multifactorial, ya sea por lesión por efecto de masa, congestión vascular y/o edema cerebral, este va acompañado de hiperemia la cual persiste unos días posterior al trauma, el aumento en el volumen sanguíneo cerebral, es causado por la vasodilatación compensatoria para mantener el flujo sanguíneo cerebral(8).

El neurotrauma pediátrico se puede dividir en 2 categorías: Lesión primaria como consecuencia de un trauma inicial, y lesión secundaria como complicación de la lesión primaria; frecuentemente se subestima la lesión secundaria, sin embargo, está relacionada con peores resultados y pronóstico (Ver Tabla 2)(1).

Tabla 2 Tipos de lesiones secundarias al trauma

Lesiones primarias	
Óseas	● Fractura de cráneo. ● Fractura de cráneo en crecimiento.
Extra-axiales	● Hematoma epidural. ● Hematoma subdural. ● Hemorragia subaracnoidea. ● Hemorragia intraventricular.
Intra-axiales	● Lesión Axonal Difusa. ● Contusión cortical ● Hematoma intracerebral
Vasculares	● Disección vascular ● Fístula carótido-venosa ● Fístula dural arteriovenosa ● Pseudoaneurisma
Lesiones secundarias	
Agudas	● Edema cerebral difuso ● Herniación cerebral ● Infarto ● Infección
Crónicas	● Hidrocefalia ● Encefalomalacia ● Fuga de líquido cefalorraquídeo

Información para elaboración tomada de: Kannan N, Ramaiah R, Vavilala MS. Pediatric neurotrauma. International journal of critical illness and injury science 2014 Apr;4(2):131

Recientemente se ha creado una categoría que ocurre en niños menores de 2 años, denominada neurotrauma de abuso o infligido, se considera una causa mayor de neurotrauma y está asociada a fractura craneal, hematoma subdural, hemorragia subaracnoidea, lesión axonal difusa con o sin edema cerebral y lesión retardada de hipoxia-isquemia(1). Las lesiones por abuso infantil se presentan con relación a la edad, siendo la lesión difusa axonal la más común en neonatos por el mecanismo de lesión “bebé sacudido” y la lesión focal por niños que son golpeados(1).

Los niños con neurotrauma infligido comúnmente presentan alteración del estado de conciencia, coma, convulsiones, vómito o irritabilidad, en estos casos el resultado clínico y pronóstico generalmente es pobre(1). Por lo tanto, el médico debe comprobar la coherencia que existe entre la historia relatada por la persona encargada del niño y el mecanismo de la lesión para identificar este tipo de trauma.

En el neurotrauma se observan tanto edema vasogénico como citotóxico, no obstante su aparición depende del mecanismo del trauma; el edema vasogénico se genera producto de la falla de la barrera hematoencefálica, el citotóxico es la forma predominante de edema luego de un neurotrauma(8).

La evaluación clínica frecuentemente es un reto, ya que los síntomas al momento del trauma pueden ser escasos, y el tipo de trauma varía acorde a la edad del niño y su actividad física(11). Por ejemplo, en el periodo perinatal, las lesiones relacionadas con el nacimiento se observan típicamente, en niños que aprenden a caminar, las caídas son el mecanismo más común de trauma, en la etapa escolar el trauma se relaciona con accidentes de tránsito(11).

La pérdida del estado de conciencia es la presentación clínica más común, para lo cual es necesario el uso inicial de la escala de coma de Glasgow (GCS); seguido de la manifestación inicial se puede encontrar confusión, somnolencia, vómito, palidez, irritabilidad, bradipnea o apnea, hemiplejia, descerebración. Por otra parte la aparición de nuevas manifestaciones clínicas son típicas de la aparición de una lesión secundaria(11). Como mecanismo de trauma común se observan dos: el primero de carga de impulso, donde la cabeza se mueve como resultado del impacto de otra parte del cuerpo creando un efecto “whiplash”; el segundo es el impacto de carga, donde la cabeza golpea un objeto estacionario o es golpeada por un objeto en movimiento(11).

Dado que la hipófisis es vulnerable al trauma, se ha observado, que cerca del 16-61% de los pacientes pediátricos con neurotrauma pediátrico desarrollan hipopituitarismo(10).

Dado que la presentación clínica es tan amplia y variable, supone un reto el abordaje inicial de un paciente pediátrico con un neurotrauma, por lo cual es vital que el clínico reconozca que el paciente pediátrico no es un “adulto pequeño” y debe tener conocimientos sobre las diferencias anatómicas y fisiológicas que influyen en la respuesta al trauma por parte de este grupo en especial.

Neurotrauma primario

Fractura de cráneo

Cerca del 10-30% de los neurotraumas se asocian a fractura craneal, es más común en hombres, las intervenciones quirúrgicas se realizan principalmente en fracturas deprimidas, fracturas con compromiso del seno frontal y lesiones asociadas a lesión con efecto de masa(13). Generalmente reciben un manejo conservador, las fracturas del hueso frontal comúnmente requieren reparación, generalmente el trauma está asociado a dos o más fracturas(4). Las fracturas lineales son las más comunes y ocurren en el hueso parietal, seguido del occipital, frontal y temporal respectivamente(6).

Las fracturas craneales tienen una alta capacidad de remodelación en la población pediátrica, no obstante el cerebro y las estructuras craneofaciales siguen en desarrollo, por tal motivo estas fracturas pueden progresar a fracturas de cráneo en crecimiento(13).

El edema extracraneal subcutáneo es un signo indirecto para diagnosticar fractura craneal(6). Los niños con fractura de cráneo sin desplazamiento inicialmente no requieren hospitalización, sin embargo, los que presenten alteración del estado de conciencia, lesiones adicionales o aquellos con sospecha neurotrauma de abuso requieren hospitalización(6).

La lesión dural se puede observar debajo de las fracturas en el 11% de los casos de fracturas deprimidas, estas lesiones durales resultan en lesiones intracraneales, por el contrario, si las fracturas

están por encima de los senos duros, los niños necesitan ser monitoreados en UCI, debido al riesgo de progresión a hematoma epidural y trombosis postraumática de los senos venosos(6).

En un estudio retrospectivo realizado por Bonfield et al. en un centro de trauma pediátrico nivel I del Hospital de Pittsburgh entre el año 2000 a 2005, se decidió comparar el manejo de las fracturas craneales en pediátricos, se analizaron 897 pacientes con fractura craneal, de los cuales 772 se les dio manejo médico, 58 requirieron reparación de la fractura y 67 requirieron una intervención para el manejo del neurotrauma(13). Esto evidencia que la mayoría de las fracturas craneales se pueden manejar de manera conservadora, cuando son por accidente de tránsito o pacientes golpeados por un objeto, es más probable que requieran intervención quirúrgica(13).

La causas más comunes de fractura craneal son las caídas, seguido por accidentes de tránsito y golpe directo contra un objeto; las lesiones asociadas más comunes son los hematomas; la gravedad según puntaje obtenido en el GCS se relaciona con la necesidad de intervención quirúrgica(13).

Las lesiones asociadas al trauma más comunes son las hemorragias intracerebrales, y las complicaciones se relacionan principalmente al trauma que a la intervención quirúrgica(13). Es importante reconocer según las características y mecanismo del trauma que pacientes tienen indicación quirúrgica (Ver Tabla 3)(6,13).

Tabla 3 Indicaciones para reparación de fracturas de cráneo

Situaciones en las cuales se recomienda realizar reparación de fractura
● Fuga de líquido cefalorraquídeo identificada ● Cuerpo extraño ● Heridas infectadas ● Evacuación de hematoma, si es necesario ● Desbridamiento local de la herida, si es necesario ● Motivos cosméticos ● Fractura de > 2 huesos craneales

Informacion para elaboracion tomada de: Takashi A, Hiroyuki Y, Akio M. Pediatric Traumatic Brain Injury: Characteristic Features, Diagnosis, and Management. Neurologia medico-chirurgica 2017;57(2):82-93

Bonfield CM, Naran S, Adetayo OA, Pollack IF, Losee JE. Pediatric skull fractures: the need for surgical intervention, characteristics, complications, and outcomes. Journal of Neurosurgery: Pediatrics 2014 Aug;14(2):205-211.

Niños con neurotrauma y un examen neurológico normal tienen menos del 5% de incidencia de lesión intracraneal, e infrecuentemente el 1% de los casos requiere intervención quirúrgica(14).

Un estudio retrospectivo realizado en un centro metropolitano de trauma pediátrico nivel uno del año 2004 al 2014 por Blackwood et al, buscó determinar cuál era el manejo ideal de niños con fractura aislada de cráneo y su resultado; se evidenció que de 71% de pacientes, el 56% eran hombres y el 85% menores de 3 años, se concluyó que pacientes con examen neurológico normal y con fractura craneal aislada no desplazada, normalmente no presentan lesión intracraneal asociada o riesgo de secuelas significativas a largo plazo, por lo tanto, la observación neurológica en pacientes

hospitalizados es innecesaria en el contexto de fracturas craneales aisladas con examen neurológico normal(14).

Las fracturas en “bola de ping pong” en recién nacidos en pocas ocasiones afectan la duramadre, la reducción espontánea es esperable en fracturas deprimidas simples en recién nacidos, pero en niños es más probable que requieran craneoplastia(6).

Las fracturas craneales basales son poco comunes en niños, si los huesos faciales continúan en desarrollo una fractura de este tipo puede resultar en lesiones nerviosas y vasculares; se puede observar este tipo de fractura asociada a fractura del hueso temporal, y fugas de líquido cefalorraquídeo(6).

Fractura de cráneo en crecimiento

Es una complicación rara, pero importante en neurotrauma pediátrico, la cual ocurre principalmente en niños menores de 3 años, ocurre cerca del 0.05% al 1.6% (15). Se presenta a partir de una fractura lineal, la cual puede presentar un quiste leptomeníngeo o herniación de tejido cerebral a través de la duramadre, que posteriormente resultará en un alargamiento de la línea de fractura, por lo general el defecto de la duramadre es mayor que el craneal(6,15). este tipo de lesión se produce debido a una presión pulsátil a través de las lesiones que están adheridas a la cara interna del cráneo(6).

Los cambios patológicos en la estructura craneal, debido al rápido crecimiento óseo y cerebral, provocan que la duramadre se adhiera más cerca del cráneo más fácil cuando este está fracturado(15). El cráneo es delgado y deformable, lo cual facilita el desgarro de la duramadre; todo esto en conjunto

facilitará la aparición de deficiencias nutricionales, especialmente en los bordes óseos, por lo tanto, se presentarán cambios cosméticos como depresiones craneales o edema pulsátil, los cuales son utilizados como elementos diagnósticos(6,15).

Un estudio retrospectivo realizado por Liu et al en el West China Hospital entre el año 1990 y 2010, en el cual se tomaron 27 pacientes pediátricos con fractura de cráneo en crecimiento, que fueron tratados quirúrgicamente; donde 22 pacientes (81.5%) tuvieron como mecanismo de trauma caída desde altura o golpe directo con objeto pesado(15). El tiempo entre el trauma y el diagnóstico varía de 1 día a 8 años, el objetivo del estudio fue clasificar este tipo de fracturas en tres fases, para determinar severidad y tratamiento adecuado(15). El cuadro clínico más común y los hallazgos radiológicos más comunes se enuncian en la tabla 4(15).

Tabla 4 Hallazgos clínicos y radiológicos

Cuadro clínico más común	Hallazgos radiológicos comunes
● Defecto craneal ● Edema de cuero cabelludo pulsátil en sitio de fractura ● Convulsiones focales o generalizadas ● Déficit neurológico progresivo	● Dilatación ventricular unilateral ● Herniación cerebral ● Quiste leptomeningeo ● Hidrocefalia ● Encefalomalacia ● Fractura con contusión cortical ● Fractura con espacio > 4 mm ● Zona con misma densidad cerebral como contusión cerebral o LCR que avanza a través de fractura hacia tejido celular subcutáneo

Información tomada para elaboración de: Liu X, You C, Lu M, Liu J. Growing skull fracture stages and treatment strategy. Journal of Neurosurgery: Pediatrics 2012 Jun;9(6):670-675.

Se describen 3 fases: prefase o fase 1, fase temprana o fase 2 y fase tardía o fase 3; en la temprana la lesión cerebral y ósea son causadas por el trauma mismo, el déficit neurológico progresara acorde con la progresión de la fractura sobretodo en la fase tardía(15). La fase 1 comprende el tiempo entre el trauma y el momento previo al alargamiento de la fractura, que pueden presentar fractura con desgarro de la duramadre y herniación cerebral a través de la fractura; se debe comprender que estos cambios no suceden inmediatamente después del trauma inicial, sino que empeoran progresivamente de meses a años, esta es la mejor fase para dar un óptimo tratamiento(15).

La fase 2 comprende el tiempo entre el alargamiento inicial de la fractura hasta 2 meses luego de este, en esta fase el defecto óseo es pequeño, la deformidad ósea y déficit neurológico son leves, tiene un buen pronóstico(15). La fase 3 comprende un inicio de alargamiento oseo mayor a dos meses, el defecto óseo es grande, la deformidad ósea y déficit neurológico son severos, si no se da tratamiento temprano(15).

Las imágenes diagnósticas utilizadas son inicialmente CT, en caso de encontrar fractura craneal con contusión cerebral subyacente, zona con la misma densidad del tejido cerebral como contusión cerebral o LCR avanzando a través de la fractura al tejido celular subcutáneo, se recomienda realizar resonancia magnética o ultrasonografía doppler, todos los pacientes con este tipo de fracturas requieren intervención quirúrgica y un periodo de seguimiento para observar osteogénesis en el defecto óseo(15).

Hematoma epidural agudo

Es poco común, en ocasiones autolimitado, más común en varones, representa cerca del 2% de las hemorragias cerebrales neonatales comúnmente acompañadas de fracturas craneales, en recién nacidos asociados a trauma obstétrico secundario a parto instrumentado, en niños hay una incidencia del 1% al 6% donde el mecanismo más común de trauma son las caídas y accidentes de tránsito(16-18). Es poco común porque la duramadre de la población pediátrica está fuertemente adherida a la superficie interna del cráneo, sobretodo en la vecindad de las suturas, ya que la separación de la duramadre del cráneo es el evento inicial que favorece la formación del hematoma(6,16,18).

En recién nacidos la presentación clínica es variable desde asintomático hasta llegar a presentar síntomas hematológicos (palidez, somnolencia), neurológicos (convulsiones, déficit neurológico focal) o inespecíficos (hipotensión, bradicardia, apnea), se ha observado que la hipotonía y las convulsiones son los síntomas más comunes(16). dentro de las causas en recién nacidos se encuentran, la compresión del cráneo en el canal del parto que produce una luxación, la cual favorece la separación de la duramadre de la cara interna del cráneo o una fractura craneal(16).

En un estudio retrospectivo realizado por Gerlach et al la localización más frecuente fue parietal 49% y frontal 36%, el lado principalmente afectado fue el derecho 59% e izquierdo 41%, donde el 90% de los casos se asocian a fractura craneal(17).

En general, el hematoma epidural agudo en infantes, es de origen venoso, el cual es casi siempre causado por lesiones de senos venosos duros o por ruptura de las venas emisarias en la

vecindad de la fractura; cuando la lesión es posterior está asociada a fractura occipital, y lesión desde el seno transversal hasta el seno sigmoide(6).

Siempre se debe tener en cuenta el riesgo inminente de hematoma epidural agudo de origen arterial, el cual es de rápida progresión y puede tener complicaciones tales como herniación cerebral y muerte(6). Se debe tener en cuenta que los hematomas de los senos venosos se pueden extender a lo largo del seno e incluso lograr llegar al lado opuesto(6).

El diagnóstico se debe hacer con CT o resonancia magnética (MRI), en ocasiones se sugiere realizar ultrasonido transfontanelar en recién nacidos con cefalohematomas para descartar hematoma epidural(16).

Las opciones de tratamiento son craneotomía o manejo conservador; los criterios para realizar una intervención quirúrgica, aunque controversiales son: hematoma de gran volumen (>1 cm de grosor o >30 mL) asociado a fractura craneal, y desviación de la línea media (>5 mm) con sintomatología, sin embargo, el manejo quirúrgico Vs expectante es controversial(16,18). Debido a que las suturas no están fusionadas, permiten el aumento del perímetro cefálico, lo cual favorece que se compense la hipertensión intracraneal, lo cual explica que en ocasiones los pacientes están asintomáticos; se debe hacer seguimiento con CT o MRI, el pronóstico generalmente es bueno con un diagnóstico y tratamiento temprano(16).

Hematoma subdural agudo

Comúnmente el mecanismo del trauma corresponde al impacto de un cráneo en movimiento contra un objeto en estado estacionario(6). En general, ocurre por una fuerza de cizallamiento y de aceleración rotacional producto de una súbita desaceleración, que causa lesión vascular y del parénquima cerebral(6).

Los hematomas subdurales agudos bilaterales son comunes, y los hematomas se localizan preferentemente en el tentorio, a lo largo del calvarium, en la fisura interhemisférica, en la hoz del cerebro y en tentorio cerebeloso(6).

Asociado al hematoma, se puede presentar encefalopatía hipóxico-isquémica extensiva, la cual puede causar hipertensión endocraneana, en tal caso, se realiza craneotomía de urgencia para la evaluación del hematoma(6).

Hemorragia subaracnoidea traumática

No se ha investigado específicamente en la población pediátrica, se puede producir por una ruptura de la microvasculatura en el espacio subaracnoideo o en la superficie cerebral por circulación y redistribución de una hemorragia intraventricular; dentro de las secuelas que deja este tipo de lesión se encuentran: vasoespismo cerebral, isquemia, hipoxia, edema, convulsiones, e hidrocefalia(6,19).

Un estudio retrospectivo realizado por Hochstadter et al. se analizaron 171 pacientes pediátricos con trauma craneoencefálico severo, donde el 42% presentó hemorragia subaracnoidea, 20

de estos correspondió a neurotrauma de abuso por mecanismo de bebé sacudido; se concluyo que esta se asocia con peor pronóstico, aunque los estudios pronósticos son generalmente pocos(19).

Hemorragia intracerebral

En población pediátrica es difícil determinar las causas, especialmente en niños con anomalías vasculares congénitas, como malformaciones arteriovenosas(6). Cuando es por causa traumática, comúnmente se observa en la sustancia blanca de la región frontal y temporal, también se puede observar en ganglios basales y en cerebelo por ruptura de arterias perforantes(6).

Por lo general, el mecanismo de trauma en este tipo de lesiones corresponde a una alteración de energía y velocidad entre las fuerzas de aceleración/desaceleración, las cuales favorecen la lesión vascular(20). Por lo tanto, en este tipo de lesiones el mecanismo del trauma, la energía y la velocidad de este son los factores pronósticos más relevantes(20).

Hemorragia intraventricular

Comúnmente causada por perforación de sistema intraventricular o hematomas intracerebrales cercanos a ventrículos cerebrales; se puede observar en el caso de una ruptura vascular subependimaria y con lesión asociada de estructuras paraventriculares, como fórnix, septum pellucidum y/o cuerpo calloso(6).

En lesiones axonales difusas, fuerzas rotacionales y de cizallamiento pueden romper vasos subependimarios, vasos del cuerpo calloso y causar hemorragia intraventricular subsecuente, en estos pacientes es importante realizar un adecuado monitoreo para evitar hidrocefalia secundaria(6).

En un estudio prospectivo realizado por Lichtenstein et al. se encontró que a pesar de ser tener una baja incidencia, cuando se presenta de manera aislada tiene mejor pronóstico, que cuando se asocia a otras hemorragias intracraneales(21). Los pacientes con hemorragia intraventricular no aislada por lo general presentan un GCS menor de 14, requieren intervención quirúrgica, y tienen mayor mortalidad; en general, estos pacientes tienen secuelas importantes(21).

La hidrocefalia postraumática puede ser causada, ya sea por obstrucción de acueductos cerebrales o malabsorción de LCR, debido a una obstrucción granular subaracnoidea; adicionalmente los productos de degradación de eritrocitos pueden provocar epididimitis química(6).

Contusión cerebral

Son comunes en la población pediátrica, se observan debajo de la zona de impacto, aparecen en la sustancia gris, mientras que la sustancia blanca se preserva relativamente bien(6). Las zonas más comunes de aparición son la región frontal y temporal, debido a la superficie irregular de la base del cráneo, la contigüidad anatómica de la crista galli y la porción petrosa del hueso temporal(6).

El edema cerebral secundario a la contusión puede progresar rápidamente y convertirse en una lesión hipóxico-isquémica que rodea la lesión original(6). Lesiones en fosa media y posterior pueden progresar rápidamente a herniación cerebral y muerte(6).

Lesión axonal difusa

Es uno de los hallazgos más comunes en CT luego de un trauma craneoencefálico severo, los neonatos y los niños pequeños son los más propensos a este tipo de lesión, debido a que el movimiento diferencial del cerebro y del cráneo es aumentado por la debilidad de los músculos del cuello, la baja mielinización, y el alto contenido de agua en el cerebro(11).

Los síntomas clásicos incluyen coma con postura de decorticación y descerebración, la evidencia radiológica basada en hallazgos en resonancia magnética pueden dar un diagnóstico definitivo más confiable que los síntomas clínicos(6).

Neurotrauma de abuso

Es un tipo de trauma exclusivo de la población pediátrica, el resultado posterior a neurotrauma de abuso es menos favorable comparado con otros mecanismos de trauma, con una mortalidad de cerca del 20% y 50% de incapacidad permanente, es la causa más común de trauma en menores de 2 años; siempre debe ser parte del diagnóstico diferencial en neurotrauma pediátrico(6,22). El neurotrauma de abuso abarca: el neurotrauma infligido, trauma craneoencefálico no accidental, y el síndrome del bebé sacudido(6).

Los mecanismos de trauma más comunes son: bebé sacudido, impacto directo o combinación de ambos, es común que se produzca una lesión secundaria debido a hipoxia y/o hipotensión(6). Este tipo de trauma se genera favorecido por fuerzas de aceleración/desaceleración, lesiones múltiples asociadas y retraso en la atención médica; la lesión axonal difusa, hemorragia subdural con cierto grado de hipoxia son hallazgos comunes(22).

Las guías actuales no poseen recomendaciones específicas para población pediátrica con este tipo de trauma en particular, lo cual afecta negativamente la identificación y desarrollo de nuevos objetivos terapéuticos para mejorar el resultado clínico de los pacientes con este tipo de neurotrauma(22).

El cuadro clínico se caracteriza por presentar alteración del estado de conciencia con un GCS bajo, convulsiones, vómito, y un signo clínico típico con un valor predictivo positivo (VPP) del 93% es apnea, se deben observar fracturas costales o hemorragia retiniana multilaminar bilateral, las cuales son comunes y tienen un VPP del 73% y 71% respectivamente; cuando se realizan imágenes diagnósticas es uno de los hallazgos más comunes, también se observan hemorragias intracraneales, lesiones de la unión craneocervical, y edema cerebral(6,22).

Las implicaciones de la atención prehospitalaria y hospitalaria en este tipo de trauma puede llegar a afectar el manejo, de manera particular se ha encontrado que es más común en pacientes femeninas, la principal causa de muerte en este tipo de trauma, es debido a hipertensión endocraneana refractaria, por lo cual, es vital en este escenario realizar un monitoreo invasivo de la PIC(22).

Neurotrauma secundario

Comprende un periodo de horas hasta inclusive meses después del trauma primario, su aparición es el resultado de eventos bioquímicos y fisiológicos complejos en respuesta al trauma inicial; incluyendo alteración de la homeostasis del calcio, aumento producción de radicales libres y de peroxidación de lípidos, disfunción mitocondrial, inflamación apoptosis y pérdida de la autorregulación(11). Todos estos eventos van a favorecer la aparición de edema, aumento de la PIC, hiperemia e isquemia, cuyo desenlace será un metabolismo inadecuado de glucosa y oxígeno(11).

Por tal motivo, es de suma importancia posterior a la reanimación del paciente con neurotrauma, se debe tener como objetivo prevenir la lesión secundaria, ya sea por hipoxia, hipercapnia, hiponatremia, hipertermia, convulsiones, hipoglicemia o hiperglicemia e incremento de la PIC(8).

Edema cerebral difuso

Es una principales complicaciones que amenaza la vida en neurotrauma, comúnmente se observa en CT de pacientes con neurotrauma de abuso(6). Debido a que los niños no tienen completamente desarrollado un mecanismo de autorregulación compensatorio del flujo sanguíneo cerebral, son más propensos a hiperemia cerebral, la cual puede causar hipertensión endocraneana; se debe tener en cuenta que los infantes tienen una presión arterial media más baja con una capacidad de reserva menor para compensar la hipotensión e hipoxia(6).

Es común observar en CT zona de lesión extensa hipodensa en hemisferio cerebral con borramiento de surcos cerebrales y cisternas así como el sistema ventricular(6).

Neuroimágenes

Las neuroimágenes han jugado un rol importante en el manejo del trauma craneoencefálico pediátrico a través de la historia, sin embargo hasta hace poco son usadas como herramientas para la comprensión y la predicción de futuras apariciones a largo plazo. Nuevas tecnologías como la resonancia magnética han aumentado la sensibilidad para detectar lesiones como el daño axonal difuso, por lo que se cree que dichas formas imagenológicas son prometedoras para establecer factores predictores y correlaciones en las futuras funciones crónicas globales o específicas de un dominio después de una lesión(7,23). Por lo que su aplicación además, brindará un diagnóstico aún más preciso, un tratamiento eficaz y apropiado, y la prevención de posibles complicaciones. De la misma manera es posible establecer ciertas diferencias que se logran obtener en la CT entre la población pediátrica y la adulta. El uso de neuroimágenes brinda una ayuda diagnóstica para la estratificación o clasificación del tipo de lesión y consigo lograr así direccionar el manejo médico o quirúrgico.

La evidencia muestra que la población pediátrica es más propensa a tener fracturas de cráneo, hematomas subdurales y menos propensos a tener un hematoma epidural, una hemorragia subaracnoidea o compresión de las cisternas basales(7).

En el 2013 se publicó una revisión sistemática donde mostraban diferentes indicaciones clínicas en las cuales se recomendaba el uso de estudios imagenológicos en el paciente pediátrico con trauma craneoencefálico(24).

A continuación se listan los tres estudios principales, que mostraron tener la mejores indicaciones con la mejor calidad de evidencia(24):

- CHALICE (Children's Head Injury Algorithm for the Prediction of Important Clinical Events)
- CATCH (Canadian Assessment of Tomography for Childhood Head Injury)
- PECARN (Pediatric Emergency Care Applied Research Network)

Sin embargo, cada estudio contaba con algunas diferencias como tipo de pacientes incluidos con variables diferentes como: Edad, tipo de trauma, horas de evolución entre otras por lo que a la hora de tomar una decisión es de importancia individualizar al paciente y analizar su contexto.

CHALICE

Publicada en el 2006 por el grupo de UK de investigación en medicina de emergencias. Incluyó niños mayores de 16 años y buscaba identificar cual niño con trauma craneoencefálico tenía un alto riesgo clínico de tener una lesión intracraneal significativa extrapolada como muerte como resultado de un trauma craneoencefálico, necesidad de intervención neuroquirúrgica o con marcados hallazgos en el TAC de cráneo(24).

Como resultado encontraron una sensibilidad de 98% y una especificidad de 87% para lesiones intracraneales significativas con las siguientes recomendaciones(24):

- Pérdida de conciencia evidenciada mayor de 5 minutos
- Amnesia de más de 5 minutos
- Somnolencia anormal
- 3 o mas episodios eméticos
- Sospecha de trauma no accidental
- Convulsiones sin antecedente de epilepsia
- Trauma con un mecanismo de colisión en vehículo a alta velocidad, caída de más de 3 m de altura o golpe con objeto a alta velocidad
- Escala de coma de Glasgow menor de 14 (o <15 si es menor de 1 año de edad)
- Lesión penetrante o hendidura de cráneo
- Fontanela abombada
- Signos de fractura de base del cráneo
- Examen neurológico anormal
- Sudor del cuero cabelludo, hematoma o laceración mayor de 5 cm si es menor de 1 año.

CATCH

Desarrollada en Canadá en el año 2010, incluyendo niños de 16 años y menores, en donde buscaban identificar cuáles niños con trauma craneoencefálico menor dentro de 24 horas necesitaban una intervención neurológica(24). Para esto definen trauma menor como un golpe con objeto

contundente con un puntera en la escala de coma de Glasgow entre 13 y 15 con documentación de pérdida de la conciencia, amnesia, desorientación, emesis persistente o irritabilidad(24).

Se encontró una sensibilidad de 100% y especificidad de 70% para determinar la necesidad de una intervención quirúrgica en el grupo de “alto riesgo” y con una sensibilidad de 98% y especificidad de 50% para identificar lesiones visibles en TAC de cráneo en el grupo de “mediano riesgo”(24).

- *Alto riesgo: GCS menor de 15 en 2 horas después del trauma, sospecha de fractura abierta o deprimida de cráneo, cefalea que empeora, irritabilidad(24)
- *Mediano riesgo: signos de fractura de base del cráneo, un hematoma grande del cuero cabelludo y un mecanismo de lesión peligroso (cada de más de 3 pies o 5 escalones, caída de bicicleta sin casco)(24)

PECARN

Diseñada por el grupo de investigación aplicado de cuidado en emergencias pediátricas en Estados Unidos y publicada en el 2009. Buscaban identificar cuales niños con trauma craneoencefálico tenían un bajo riesgo de una lesión traumática de cráneo clínicamente importante y por consiguiente no requerían un TAC de cráneo(24). Para ello definen una lesión importante como aquella que resulta en muerte, intervención neuroquirúrgica, intubación mayor a 24 horas por TCE o estancia hospitalaria por 2 noches o más asociado a TCE(24). Para pacientes con trauma craneoencefálico clínicamente importante obtuvieron una sensibilidad de 100% - 96.8% y un valor predictivo negativo de 100% - 99.95% dependiendo del grupo evaluado(24).

Dividen sus indicaciones en 2 grupos según la edad:

Menores de 2 años:

- GCS pediátrico = 14
- Signos de alteración del estado mental
- Fractura de cráneo palpable
- Hematoma de cuero cabelludo (no frontal)
- Pérdida de la consciencia de 5 segundos o más
- Mecanismo de trauma severo
- Actitudes anormales según los padres

Mayores de 2 años:

- GCS = 14
- Signos de alteración del estado mental
- Signos de fractura de base del cráneo
- Pérdida de conciencia
- Emesis
- Mecanismo de trauma severo
- Dolor de cabeza intenso

De la misma manera sugieren evaluar la posibilidad de observación de los paciente en vez de realizar un TAC de cráneo inmediato, al menos de 6 horas ya que esto le permite evaluar al médico si hay empeoramiento de los síntomas(24).

De igual manera otras fuentes proponen otras indicaciones claras para el uso de estos apoyos diagnósticos, como las guías NICE(25).

Realización de un CT de cráneo simple en niños: Se debe de tomar en menos de una hora cuando(25):

- Existe la sospecha de lesión no accidental.
- Convulsión postraumática sin historia de epilepsia.
- Cuando en la revisión primaria se encuentra un GCS < 14 y en niños menores de 1 año un GCS pediátrico <15.
- Cuando se sospecha una fractura abierta o depresión del cráneo al igual que una fontanela tensa.
- Cualquier signo de fractura de la base del cráneo: hemotímpano, ojos de panda, drenaje de LCR por algún orificio.
- Déficit neurológico focal
- En niños menores de 1 año la presencia de moretones o magulladuras, inflamación o laceración mayor a 5 cm en la cabeza

En casos de no cumplir con los criterios anteriores se debe realizar una CT de cráneo en el paciente pediátrico cuando tenga más de 1 de las siguientes(25):

- Pérdida de la conciencia por más de 5 minutos y que haya sido documentada
- Somnolencia anormal
- Tres o más episodios discretos de vómito

- Mecanismo de lesión peligroso (accidente de tráfico a alta velocidad tanto como peatón, ciclista y acompañante de automóvil). caída mayor a tres metros de altura, lesión por un proyectil a alta velocidad u otro objeto.
- Presencia de amnesia que dure más de 5 minutos independiente del tipo (anterógrada o retrógrada).

En los pacientes que no cumplan más de uno de los anteriores se debe de hacer una observación por mínimo 4 horas. Si ocurre alguno de los siguientes se debe de tomar una CT en menos de 1 h(25).

- GCS <15
- Vómito
- Más episodios de somnolencia anormal

Biomarcadores

Como otros apoyos diagnóstico, se ha encontrado la reciente aplicación de biomarcadores y el estudio genético en busca de otros factores que permitan a los médicos poder establecer alguna relación con el manejo, futuras intervenciones, probables complicaciones y cuidados ambulatorios.

Como un intento de encontrar otros medios que podrían complementar la imágenes diagnósticas, y dar una utilidad en acerca de la enfermedad presente, su severidad o pronóstico o una posible eficacia de un tratamiento aplicado. Se descubrieron algunos biomarcadores para daño cerebral entre estos s100B(26). Es un péptido de unión al calcio producido principalmente en los astrocitos que se libera por estos cuando la barrera hematoencefálica es perturbada. Sin embargo a pesar de mostrar

datos prometedores su presencia no solo aparece en casos de TCE sino en algunas otras patologías extra craneales o patología maligna difusa como en el melanoma resulta de difícil valoración e investigación por la misma anatomía y fisiología del sistema nervioso central(27).

Un estudio realizado en hospitales universitarios de Canadá en 6 paciente con trauma craneoencefálico severo (GCS menor o igual a 8) con diferentes criterios de inclusión evaluó el uso de diferentes biomarcadores. Encontró la presencia de diversas proteínas originarias del cerebro, entre estas gamma-enolasa, precursor de la proteína amiloide beta A4, alfa-spectrina y “cleaved microtubule-associated protein tau”, donde el precursor de la proteína amiloide beta A4 y el leucylcystinyl aminopeptidasa correlacionan con los niveles de S100B de referencia de pacientes con TCE que el estudio tomaba y a su misma vez con el puntaje de GCS de estos pacientes con TCE(27). Lo que brinda nuevas posibilidades de herramientas de evaluación y seguimiento que en un futuro mostrarán su aplicabilidad y utilidad más clara.

Abordaje y manejo:

Abordaje inicial

El abordaje inicia en el sitio del trauma realizando un ABC (airway, breathing, circulation) completo, como en cualquier paciente traumatizado realizar revisión primaria y secundaria exhaustivas, con la particularidad del uso de la escala de coma de Glasgow pediátrica (GCS) (Ver Tabla 5)(1,8). Se debe inmovilizar la columna cervical de manera inmediata y temprana, la parte más importante de la revisión primaria es establecer una adecuada vía aérea, en niños con GCS <9 es ideal

realizar intubación traqueal para protección de vía aérea y manejo de hipertensión endocraneana; una prevención temprana de la hipoxia, tiene mejores resultados en pacientes con neurotrauma moderado y severo, se debe tener en cuenta que la intubación traqueal genera un estímulo nauseoso que puede aumentar la PIC, para lo cual se requiere una buena sedación, se debe evitar la intubación nasotraqueal por riesgo debido a la posibilidad de una fractura de la base del cráneo (Ver Tabla 6) (1,8). El manejo en general del neurotrauma pediátrico es todo un reto, debido a las diferencias en los mecanismos de trauma(6).

Tabla 5 Escala de coma de Glasgow

Escala de coma de Glasgow pediátrica	
Ojos	Puntaje
1. Apertura ocular espontánea	4
2. Reacciona al habla	3
3. Reacciona al dolor	2
4. No responde	1
Mejor respuesta verbal	
1. Sonríe, orientado, interactúa	5
2. Interactúa inapropiadamente	4
3. Se encuentra gimiendo	3
4. Irritable, inconsolable	2
5. No responde	1
Mejor respuesta motora	
1. Obedece o reacciona de manera espontánea a estímulo verbal	6
2. Localiza el dolor	
3. Se retira con estímulo doloroso	5
4. Flexión anormal	4
5. Extensión postural (decorticación/descerebración)	3
6. No responde	2
	1

Interpretación

- **Leve:** 13-15 puntos
- **Moderado:** 9-12 puntos
- **Severo:** 3-9 puntos

La principal causa de shock en trauma es la hipovolemia, por lo cual, la obtención de accesos venosos en los pacientes pediátricos puede llegar a ser un reto, si la obtención de vías periféricas es insatisfactoria luego de dos intentos, se recomienda obtener una vía intraósea(1). Los pacientes pediátricos pueden presentar hipovolemia incluso con una herida de cuero cabelludo o un neurotrauma aislado, por lo cual es ideal realizar de manera temprana un monitoreo óptimo y un manejo temprano de la hipotensión e hipoxia, para lo cual se pueden utilizar bolos de soluciones isotónicas y/o glóbulos rojos empaquetados, y se deben evitar las soluciones hipotónicas(1,8).

Tabla 6 Criterios para la intubación orotraqueal

Criterios para intubación orotraqueal
● Hipoxemia ● Hipercapnia (PaCO₂ >45 mmHg) ● Hipocapnia (PaCO₂ <25 mmHg) ● GCS <9 ● Caída mayor a 3 puntos en GCS respecto a la primera realizada ● Anisocoria >1 mm ● Patrón respiratorio anormal por trauma raquímedular ● Disfunción de pared torácica ● Pérdida de reflejos protectores de la vía aérea

Informacion para elaboracion tomada de: Kannan N, Ramaiah R, Vavilala MS. Pediatric neurotrauma. International journal of critical illness and injury science 2014 Apr;4(2):131

Kukreti V, Mohseni-Bod H, Drake J. Management of raised intracranial pressure in children with traumatic brain injury. Journal of pediatric neurosciences 2014 Sep;9(3):207

Monitoria

Respecto al monitoreo se pueden tomar ciertas medidas, como monitoreo de presión venosa central (PVC) por medio de una línea yugular, la cual puede ser útil y no afecta la presión intracraneana(1). El monitoreo de la presión endocraneana es una herramienta valiosa, es un método invasivo, pero es sumamente eficaz en la detección temprana de aumento de la PIC, antes de colocar el monitor se debe verificar que el paciente no padezca algún tipo de coagulopatía, se debe calcular gasto urinario, tomar cada hora gases arteriales y pruebas de coagulación(1,6).

Aunque el monitoreo de la PIC no posee un nivel de evidencia clase I ni II, las guías actuales de la BTF con un nivel de recomendación clase III recomiendan: instaurar monitoreo de la PIC cuando existe una alta probabilidad de presentar hipertensión endocraneana en pacientes con GCS <8, en caso de un puntaje mayor en el contexto de un paciente consciente con lesión con efecto de masa quien está en riesgo de sufrir deterioro neurológico o en quien el examen neurológico es precedido por sedación de cualquier naturaleza; es decisión del clínico si realiza monitoreo de la PIC en dichos casos(8,28). En conclusión el monitoreo de la PIC, permite orientar el manejo de un neurotrauma severo de manera objetiva, ya que la dinámica de la PIC permite clasificar qué pacientes se benefician de un manejo médico y quienes de uno quirúrgico, lo cual evita a largo plazo potenciales efectos adversos; en estudios en adultos se ha evidenciado que esta intervención se asocia con un mejor desenlace clínico(28).

Existen diversas técnicas para el monitoreo de la PIC (intraparenquimatosa, subdural e intraventricular), donde la preferida es la intraventricular, debido a que miden de manera global la PIC,

permiten realizar drenaje de LCR y administración de medicamentos, sin embargo, situaciones como desplazamiento o compresión de los ventrículos dificulta su inserción, o efectos en la medición producto de un proceso infeccioso u obstructivo(8). Recientemente se han implementado métodos no invasivos para medir la PIC como medición de desplazamiento de la membrana timpánica, medición de vaina de nervio óptico, doppler transcraneal, sin embargo, carecen de la precisión de las técnicas invasivas(8).

Se debe tener en cuenta el monitoreo de la presión de perfusión cerebral, su vigilancia continua junto con la presión intracraneal son un pilar fundamental en el manejo del neurotrauma pediátrico severo. Sin embargo, se requiere mayor investigación para determinar la presión de perfusión óptima en pacientes pediátricos, se han propuesto basados en la edad: de 2-6 (43 mmHg), 7-10 (54 mmHg), y 11-16 (58 mmHg) años; tener en cuenta estos valores demuestra que el enfoque terapéutico no debe ir únicamente fundamentado en la reducción de la presión de perfusión cerebral, sino a la óptima para la edad del paciente, ya que reducciones mayores se relacionan con peores resultados(6).

Principios generales

Las guías de neurotrauma pediátrico de la Brain Trauma Foundation (BTF) del año 2019 recomiendan iniciar manejo de hipertensión endocraneana en un valor de corte de 20 mmHg, sin embargo, para definir hipertensión endocraneana lo ideal sería basado en la edad, adicionalmente el valor óptimo en población pediátrica no está del todo definido, el corte sugerido por las guías es basado en que una PIC mayor a 20 mmHg se asocia con peores resultados clínicos, ´por lo cual se recomienda iniciar tratamiento desde este valor(8,28). Inicialmente se puede manejar con la elevación centralizada

de la cabeza a 30° que puede disminuir la PIC sin afectar la PAM o la presión de perfusión cerebral, bloqueo neuromuscular, inicio de terapia hiperosmolar y aseguramiento de la vía aérea(1).

En el contexto del neurotrauma pediátrico, la mortalidad es causada principalmente como resultado de una hipertensión endocraneana refractaria, como también es una causa asociada de neurotrauma secundario, que sumado al tiempo de duración de esta aumenta el riesgo de peor resultado clínico(8).

Se debe tener en cuenta que el uso de sedantes facilita el abordaje para establecer una vía aérea definitiva para realizar intervenciones invasivas; durante la infusión se debe evitar a toda costa a hipotensión, debido a que provocará una reducción en la presión de perfusión cerebral aumentando así la probabilidad de neurotrauma secundario(29).

El principal objetivo del abordaje quirúrgico es optimizar la recuperación del tejido cerebral viable removiendo lesiones con efecto de masa, para prevenir la aparición de hipertensión intracraneal, herniación y alteraciones del flujo sanguíneo cerebral(1). Básicamente la indicación quirúrgica para lesiones intraparenquimatosas comprende: deterioro neurológico debido a la lesión, signos por efecto de masa en CT o hipertensión intracraneana refractaria(1).

En un consorcio internacional realizado por Bell et al. se tomaron 32 centros con neurotrauma pediátrico de EEUU, Reino Unido, Francia y España; en el cual se buscaba encontrar las diferencias en el tratamiento específicamente en manejo de hipertensión intracraneal, prevención y detección de

hipoxia/isquemia, y soporte metabólico(30). En este estudio se encontraron notables diferencias en las metas y estrategias de tratamiento, y estas se ven especialmente en intervenciones donde la evidencia no es suficientemente fuerte para generar una recomendación, dichas variaciones juegan un papel importante en los desenlaces clínicos(30).

En el consorcio realizado por Bell et al. todos los centros revisados tienen un punto de corte para la PIC de 20 mmHg, sólo el 25% tiene valores por debajo de éste(30). Respecto a la terapia hiperosmolar existe cierto grado de controversia respecto al uso de manitol o solución salina hipertónica, adicionalmente en esta última no hay un estándar de a qué concentración se debe administrar para tener un mejor desenlace, sin embargo, predomina el uso de solución salina hipertónica al 3% siguiendo los lineamientos de la guía de manejo(30). El inicio del soporte nutricional en los centros revisados fue a las 48 horas posterior al trauma, el soporte metabólico en estos pacientes es un ítem de suma importancia, debido a que influye en la curación de la herida, en el crecimiento, producción de energía, y la vigilancia estrecha de la concentración de glucosa(30).

Intervenciones

Gran parte del manejo del trauma craneoencefálico tanto en la población pediátrica como adulta se basa en la ley de Monro-Kellie y es a partir del razonamiento de dicha doctrina que se planean los distintos tipos de intervenciones, desde el manejo médico hasta el quirúrgico(31). Por lo tanto el objetivo de cada intervención es reducir el daño tisular y mejorar la perfusión cerebral.

Es evidente que actualmente la literatura sobre neurotrauma es bastante amplia y variada en cuanto a opciones de tratamiento, sin embargo, existe una escasez de datos que permitan dar prioridad a ciertas intervenciones sobre otras o más bien una recomendación definitiva, lo cual afecta de manera directa la toma de decisiones en el contexto de un neurotrauma pediátrico(32).

Las intervenciones que se mencionarán a continuación, son basadas en los tópicos de las guías para neurotrauma pediátrico de la Brain Trauma Foundation del año 2012(28). Los niveles de evidencia mencionados son: clase I para ensayos controlados aleatorizados, clase II para estudios clínicos con recolección prospectiva de datos, clase III para recolección de datos retrospectiva, reportes de caso y opinión de expertos(32).

Reanimación Volumétrica

Como en adultos, existe un consenso en pediatría en que la terapia con líquidos endovenosos (LEV) debería ser únicamente reservada para pacientes pediátricos que no toleren la vía oral o que tenga contraindicación de hidratación enteral(33).

La glucosa, los depósitos hepáticos y la masa muscular se encuentran en menor cantidad al momento del nacimiento lo que hace que el paciente pediátrico no sea capaz de mantener una glicemia normal a través de la glicogenolisis y la gluconeogénesis durante estados de ayuno(33). De manera contraria ocurre con el metabolismo; desde comienzos de la vida, inicia en su tasa más alta y termina en su punto más bajo con el final de la vida(33). El líquido corporal y los requerimientos de glucosa están relacionados con el metabolismo, lo que implica que la población pediátrica requiere de mayor

líquidos y de glucosa ya que son más propensos a la deshidratación y a la hipoglicemia cuando se someten a periodos de ayuno, a la hipernatremia con la deshidratación y a la hiponatremia con el paso de agua libre. Por estas condiciones fisiológicas normales en este grupo etario es de importancia tenerlas en cuenta al momento de instaurar una terapia con líquidos endovenosos y considerar al usar líquidos de mantenimiento, suplencia con dextrosa y/o de sodio(33).

Uno de los objetivos de dicha terapia consiste en mantener un volumen intravascular apropiado para el paciente y de esta manera prevenir complicaciones como la hipovolemia, la deshidratación y hasta la hipoglicemia(34). Sin embargo es importante tener en cuenta diferentes parámetros de valoración para lograr una reanimación inicial apropiada y por consiguiente obtener un volumen intravascular adecuado y así no solo prevenir complicaciones sino aportar una terapia más que disminuya cualquier otra manifestación primaria o secundaria indirectamente(34).

En los paciente pediátricos con trauma craneoencefálico existe gran variabilidad en su manejo, la opinión más prevalente y aquella sugerida en el consenso del 2019 basado en el algoritmo de manejo permanece siendo el uso de solución salina normal como líquido de mantenimiento para lograr que la sangre permanezca isotónica e iso-osmolar con el fin de prevenir el aumento del edema cerebral y de esta manera la hipertensión endocraneana(34).

Diversos protocolos han mantenido como parámetro para la infusión inicial el uso de restricción hídrica de menos del 75% de los valores de mantenimiento. Para la sociedad de medicina de cuidados críticos y las sociedades de la federación mundial de cuidados críticos e intensivos

consideran que para lograr una normovolemia es necesaria el 75% de líquidos de mantenimiento y que se debería alcanzar un balance hídrico neutro con un gasto urinario de 1 ml/kg/hr(34). También, se han propuesto diversos límites u objetivos de los niveles del sodio para conferir adecuada tonicidad y osmolaridad al plasmas sanguíneo en especial en pacientes con Trauma craneoencefálico severo, por lo que recientemente valores superiores de 140 mEq/L se han propuesto como objetivo inicial e inclusive niveles mayores de 150 mEq/L en aquellos con manejo hiperosmolar(34).

Sin embargo en paciente más jóvenes se debería considerar el uso de Dextrosa al 5% con SSN IV en infusión en harás de prevenir la hipoglicemia y en ciertas circunstancia controlar los niveles de glucosa cada hora y en caso de encontrar valores menores a 70 mg/dl se debería añadir soluciones dextrosadas en aquellos que no se instauró inicialmente y valores de 180 mg/dl o superiores para instaurar insulina(33,34).

Adicionalmente el uso de soluciones isotónicas como la “Isofundina” ayuda a prevenir la aparición de acidosis hiperclorémica, así como la elevación de la osmolaridad plasmática comparado con otras soluciones isotónicas aunque su uso no tiene efecto alguno en la reducción de la PIC(35).

Sedantes, barbitúricos, analgésicos y bloqueo neuromuscular:

De forma genérica podemos decir que el uso de medicamentos tales como los analgésicos, anestésicos y sedantes es relativamente frecuente en el contexto del paciente con neurotrauma (29). Si bien se esperaría que el uso de éstos medicamentos fuera exclusivo para el control del dolor al igual que las reacciones del paciente o tomar imágenes (29,30), son medicamentos que debido a las

cualidades de en su mecanismo de acción se han utilizado con otros fines, entre los cuales podemos encontrar la disminución de la presión intracraneana al igual que aumentar la perfusión cerebral junto con una disminución del gasto metabólico, y sincronización de la respiración con el ventilador mejorando el ‘‘compliance’’, reduciendo las demandas metabólicas, y eliminando espasmos musculares(6,28).

Con respecto a lo anterior, se sabe que al disminuir la demanda metabólica del cerebro, se obtendrá una subsecuente disminución del estrés metabólico, asociado a su vez a una disminución en la aparición de lesiones secundarias (31)

Los barbitúricos por ejemplo como se menciona en la guía del 2012 de la Brain Trauma Foundation para Trauma craneoencefálico en población pediátrica han sido ampliamente utilizados a lo largo de la historia como un medicamento modulador de la Presión Intracraneana por los distintos efectos que causa en el paciente, típicamente clasificados bajo dos acciones: supresión o modulación del metabolismo y alteración del tono vascular(28,30). Entre los efectos podemos encontrar que la disminución de la PIC también se asocia a la limitación en los movimientos junto con modulaciones en el tono vascular, mejorando también la oxigenación cerebral a su vez disminuyendo el flujo de sangre, disminuyendo a su vez el volumen de sangre que se encuentra en la bóveda craneana (29). El efecto de los barbitúricos también se extrapola a la disminución en la producción de radicales libres mediados por peroxidación lipídica (29). Siempre que se usen barbitúricos se debe realizar un estrecho monitoreo electroencefalográfico para mantener un patrón de supresión, al producir depresión cardíaca e hipotensión, es importante realizar monitoreo hemodinámico y soporte con inotrópicos(8).

Si bien a simple vista los barbitúricos suenan como excelentes medicamentos la limitación en su uso se da por los abundantes y frecuentes eventos adversos al igual que su toxicidad. Es por esto que el uso de éstos se limita usualmente cuando se requiere disminuir la PIC y a pesar el uso de intervenciones de primera línea estas no han sido suficientes para lograr una adecuada disminución, su uso se limita para hipertensión endocraneana refractaria(28,35).

La inducción de coma barbitúrico puede ser útil en el contexto de centros hospitalarios donde no hay acceso a servicio de neurocirugía donde la cirugía de descompresión craneal no es una opción; los medicamentos más usados son el pentobarbital y el tiopental, se ha observado que el tiopental tiene una mayor eficacia en el manejo de la PIC comparado con el pentobarbital, también se ha observado que disminuye la concentración de glutamato, hipoxantinas y lactato en LCR junto con una disminución de los leucocitos disminuyendo la respuesta inflamatoria(35). La dosis recomendada de tiopental es una dosis de carga de 2-20 mg/kg con una dosis de mantenimiento de 3-6 mg/kg/h(35).

Como se mencionaba anteriormente, el uso de los barbitúricos está limitado por su seguridad dados los efectos adversos que conlleva una alta dosis(28). Los efectos adversos están principalmente co-relacionados paradójicamente con una disminución de la perfusión cerebral, dado por una disminución del gasto cardiaco en conjunto con aumento del denominado mecanismo de cortocircuito intrapulmonar al igual que la presencia de hipotensión(28).

Pese a los abundantes efectos adversos al igual que la dificultad de modular las concentraciones para evitar la toxicidad, son medicamentos que se utilizan comúnmente en pacientes de alto riesgo(28). Esto por lo tanto resulta concordante con aquello que se muestra en la evidencia. La Brain Trauma Foundation, en su guía para población pediátrica para el año 2012 encontró que la fuerza de recomendación para los barbitúricos era débil dado que, la calidad de la evidencia era poca debido a la escasa calidad de estudios de clase III(28). Por lo tanto, resulta comprensible que no existan recomendaciones con un nivel I al igual que II. Respecto a evidencia nivel III se encuentra que se podrían utilizar terapias basadas en altas dosis de barbitúricos en pacientes que se encuentran hemodinámicamente estables pero que presentan un aumento de la PIC refractario a los manejos médicos y quirúrgicos(28,36). Se menciona a su vez que si se ejecutan este tipo de terapéuticas es necesario realizar un monitoreo de la presión arterial en tándem con soporte cardiovascular(28,36). Si tenemos en cuenta lo anterior al igual que la información que se encuentra en la literatura con respecto al tema en adultos se puede encontrar que hay más evidencia en dicha población que en población pediátrica, teniendo la primera recomendación con evidencia IIB en lugar de niveles III.

Por su lado, los otros medicamentos que tenemos en cuenta en este apartado, los analgésicos y sedantes junto con otros anestésicos son reconocidos por su amplio uso en el tratamiento de los pacientes pediátricos con neurotrauma(28). Como se esperaría, su empleo se justifica en un efecto principal, aquel de producir un bloqueo neuromuscular facilitando así el transporte del paciente durante toma de imágenes o laboratorios, al igual que permitir una intubación rápida al igual que una adecuada inmovilización para la introducción de monitores arteriales u otro tipo de implementos invasivos(28). Otro uso que típicamente se le da es aquel de modulador de la PIC dado que son capaces de disminuirla,

uso que se le da en las Unidades de Cuidado Intensivo(28). A su vez se han propuesto otras ventajas al utilizar estos medicamentos en la población en cuestión, entre estos se encuentran la función anti-emética y anticonvulsivante, la prevención de movimientos involuntarios que pueda ejercer el paciente al igual que la disminución del dolor y por consecuente el trauma que éste podría dejar(28). Se considera también que éstos medicamentos modifican el estado metabólico del cerebro dado que modifican situaciones que aumentan su metabolismo, como lo son el dolor y el estrés, factores que al estar presente aumentan la rata de consumo metabólico según se ha encontrado en modelos animales(28).

Similar a lo que se mencionaba en cuestión de los barbitúricos, estos otros grupos de medicamentos, los analgésicos y los otros sedantes, pueden también disminuir la presión arterial y por consiguiente disminuir la perfusión cerebral lo que conduciría a isquemia cerebral, generando a su vez que como respuesta se tenga que aumentar el flujo sanguíneo cerebral, paradójicamente aumentando la PIC(28).

Ahora bien si revisamos la evidencia, en las guías de la Brain Trauma Foundation para el año 2012 y 2019 con respecto a este tópico se encuentra que la fuerza de recomendación al igual que con los barbitúricos es débil debido a que la calidad de la evidencia que existe es baja por estudios de clase tres de baja calidad(36). No existen recomendaciones con nivel de evidencia I o II. Con respecto a Recomendaciones con nivel de evidencia III se encuentra que el etomidato se podría utilizar en el contexto de hipertensión intracraneal severa al igual que el uso de tiopental para disminuir la PIC en contexto de hipertensión intracraneal. Sin embargo se aclara que se debe de tener en cuenta el riesgo

de supresión adrenal secundaria a la administración del medicamento(28). Por último la guía aclara que la selección de éste grupo de medicamentos al igual que la dosis y demás perfiles en la terapéutica se deben de dejar a cargo del médico tratante dado que no existe una verdadera recomendación por falta de información relacionada a los resultados particulares de cada medicamento(28,36).

En relación al uso de anestésicos como el propofol, aunque se recomienda su uso para el control de la presión intracraneana en adultos se ha encontrado que no ha tenido efectos en reducir la mortalidad al igual que los resultados a los seis meses posterior al trauma (nivel de evidencia IIB)(29); sin embargo, estudios también realizados en población pediátrica al igual que algunos reportes de casos contradicen dicha evidencia (31). El uso de infusiones continuas de propofol está contraindicado en población pediátrica debido al riesgo de síndrome de infusión de propofol (bradicardia aguda, hepatomegalia o hígado graso, acidosis metabólica, rabdomiolisis y/o mioglobulinuria), también se ha asociado su uso con la aparición de hipertrigliceridemia(6,29,35).

El uso de etomidato en el contexto de inestabilidad hemodinámica, ha sido asociado a la reducción de la PIC y aumento de la presión de perfusión cerebral en pacientes con neurotrauma pediátrico severo(29). Sin embargo, siempre que se use este medicamento se debe tener en cuenta la posibilidad de supresión adrenal(29). En el contexto de pacientes con neurotrauma con estabilidad hemodinámica, y en ausencia de insuficiencia adrenal se puede utilizar etomidato(29). El uso de fentanilo puede causar un aumento de la PIC y una disminución en la presión de perfusión cerebral(35).

Respecto a las benzodiacepinas como el midazolam, las cuales están disponibles en la mayoría de casos y en el contexto de un servicio de urgencias pueden llegar a ser útiles, causan un efecto de amnesia, ansiolítico y anticonvulsivante, no obstante, causan una importante depresión respiratoria con una acumulación de metabolitos, lo cual alargaría la sedación y afecta la evaluación neurológica; en caso de usar este tipo de agentes se recomienda un estrecho monitoreo de la presión arterial(29).

Otro medicamento que merece una mención es la Ketamina, antagonista del receptor de N-metil-d-aspartato, el cual según estudios recientes, se cree logra aumentar la presión arterial media al igual que la presión de perfusión cerebral sin tener impacto directo sobre la presión intracraneana. A su vez se ha sugerido incluso que dada la disminución en la liberación de glutamato puede llegar a tener un efecto neuroprotector(32). En el contexto de pacientes con inestabilidad hemodinámica, la ketamina puede ser un agente recomendado(29).

El uso de bloqueadores neuromusculares es de gran utilidad, el agente de elección es el cisatracurio un relajante muscular no despolarizante, en el contexto hipertensión endocraneana su uso no afecta la PIC o la presión de perfusión cerebral, lo cual permite realizar un bloqueo neuromuscular adecuada y seguro(35).

De forma conclusiva podemos decir que al día de hoy aún faltan muchos estudios con respecto al uso de éstos medicamentos con el fin de determinar las verdades en algunos temas ambiguos relacionados con la terapéutica basada en éstos fármacos, con el fin de obtener además evidencia de mayor calidad.

Terapia hiperosmolar:

El uso de estos agentes osmóticos disminuye la viscosidad sanguínea y el edema cerebral; los usados de rutina para el manejo de la hipertensión endocraneana en neurotrauma pediátrico severo son la solución salina hipertónica y el manitol(6). Las guías pediátricas de la BTF del año 2019 recomiendan el uso de solución salina hipertónica en bolo de 2-5 ml/kg en 10-20 minutos, e infusión continua de 0.1-1.0 ml/kg/h en neurotrauma severo asociado a hipertensión intracraneal, se puede utilizar en concentraciones de 3% a 30% en bolos o de mantenimiento, se prefiere su uso al 3% donde se debe mantener una osmolaridad plasmática <360 mOsm/L, este agente requiere especial atención, se debe considerar de primera línea, ya que se asocia con un estado hemodinámico cerebral favorable y una rápida reducción de la PIC (36). En la guía de la BTF del año 2019 el agente de elección es la solución salina hipertónica al 3% con una recomendación Nivel II para el control de la PIC en bolos, y Nivel III para control de la PIC de uso en infusión continua(36).

El uso de manitol a dosis de 0.25-1.0 g/kg, este se debe titular para mantener una osmolalidad plasmática <310 mOsm/L, la titulación puede ser de 0.1 g/kg lo cual produce una disminución de la PIC de 1 mmHg(6,35).

En general, los agentes osmóticos favorecen la creación de un gradiente de concentración entre el espacio intravascular, intersticial e intracelular en la barrera hematoencefálica, permitiendo el desplazamiento de líquidos al espacio intravascular, lo cual permite mejorar el flujo sanguíneo cerebral y la presión de perfusión cerebral(35). De manera anecdótica en el año 1961 se dio su utilizó por primera vez el manitol, el cual era la piedra angular en el manejo de la hipertensión endocraneana, este

agente disminuye la viscosidad sanguínea promoviendo un reflejo de vasoconstricción por medio de un mecanismo de autorregulación, que producirá una disminución en el volumen sanguíneo cerebral y en la PIC, aumenta la presión de perfusión cerebral por aumento de la reabsorción de LCR, adicionalmente genera un gradiente osmótico que desplaza el líquido del tejido cerebral hacia el compartimiento vascular, su efecto se produce de manera inmediata, dura alrededor de 75 minutos, y para que su efecto persista más de 6 horas requiere una barrera hematoencefálica integra sin embargo, sus efectos adversos limitan su uso como hipovolemia debido al aumento de la diuresis y el riesgo de insuficiencia renal aguda, por lo cual se requiere una cuantificación del gasto urinario(8,29). En el uso prolongado de manitol se ha observado que se acumula en las regiones lesionadas, lo cual puede generar un gradiente osmótico reverso pasando líquido del compartimiento intravascular al parénquima cerebral, favoreciendo el aumento de la PIC(28).

La solución salina hipertónica ha ganado un gran protagonismo, ya que disminuye la PIC y ha mostrado mejores desenlaces clínicos, preserva el estado hemodinámico, se puede administrar en pacientes hemodinámicamente inestables, restaura el potencial de acción de la membrana celular, estimula la liberación de péptido natriurético auricular, inhibe la inflamación, mejora el gasto cardiaco, trata la hiponatremia resultante del consumo de sodio en el tejido cerebral de un síndrome de acción inapropiada de ADH y/o pérdida de sodio en casos de drenaje de LCR(8,29). Se recomienda el uso de una concentración al 3% con un nivel de evidencia II por encima del manitol(8).

La solución salina hipertónica aumenta la presión arterial media, evitando lesión secundaria a hipotensión, por medio del aumento de la osmolalidad plasmática reduce el flujo de agua al espacio

extracelular, reduciendo así el edema cerebral, produciendo una reducción de la PIC y un aumento de la presión de perfusión cerebral; dentro de sus posibles efectos adversos se encuentran: efecto rebote en la PIC el cual es controversial, hipernatremia, mielinolisis central pontina, daño renal y natriuresis(29). El uso de este agente se ha asociado con una disminución en la necesidad de intervenciones adicionales para disminuir la PIC, menos tiempo de ventilación mecánica comparado con los que reciben lactato de Ringer, por lo tanto, es una de las pocas intervenciones que posee un nivel de evidencia II(29). La principal ventaja del uso de solución salina hipertónica, es el rápido inicio de acción (reducción de la PIC en los primeros 5 minutos con una duración de aproximadamente 12 horas)(35).

La solución salina hipertónica se puede utilizar con otros agentes como dextrano o hidroxietil almidón, los cuales pueden prolongar el efecto de hipertonidad; se ha encontrado que en contexto prehospitalario el uso combinado con dextrano reduce las cascadas inflamatorias y de coagulación posterior al trauma, ayudando a evitar la lesión secundaria(35).

Un estudio retrospectivo realizado en un centro de atención de tercer nivel intentó describir el uso de terapia hiperosmolar en niños con manitol y solución salina hipertónica al 3%, y evaluar su impacto en la PIC. Se incluyeron pacientes de 1 mes a 18 años, se admitieron 76 niños con neurotrauma severo entre los años 2007 y 2014; el objetivo del estudio no era comparar el manitol contra la solución salina hipertónica y su efectividad en la reducción de la PIC, sino su capacidad para producir cambios en la misma(37). Se concluyó que para evaluar la efectividad de esta intervención por sí sola, es bastante complejo, debido a que junto a esta se emplean otras intervenciones de manera conjunta,

por lo tanto, hace difícil interpretar si tiene un impacto aislado en el desenlace clínico. Adicionalmente por la naturaleza retrospectiva del estudio y la ausencia de un contexto controlado, hace imposible generar una recomendación concreta, por tal motivo esto refuerza el hecho de que es necesario realizar un ensayo clínico con un protocolo de sedación, un algoritmo de manejo de PIC, y umbrales específicos para el uso de agentes hiperosmolares, para así establecer su verdadero efecto aislado en la PIC(37).

Las guías de neurotrauma del año 2003 recomiendan que el uso de agentes osmóticos es seguro en pacientes con osmolalidad >360 mOsm/L, y se debe tener precaución en valores de <320 mOsm/L, ya que aumentan el riesgo de falla renal(8).

El uso de lactato de sodio es de utilidad, ya que en procesos de isquemia la concentración de lactato en el tejido cerebral aumenta para prevenir la hipoglicemia, por lo cual puede ser de ayuda para prevenir una lesión por isquemia-reperfusión en la fase temprana del trauma(35). Actualmente se ha implementado el uso de lactato de sodio hiperosmolar, que ha mostrado ser más efectivo que las soluciones isotónicas y el manitol, sin embargo, no ha mostrado gran diferencia en los resultados neurológicos a largo plazo comparado con soluciones isotónicas(35).

La solución salina hipertónica ha mostrado ser más efectiva que el manitol en la reducción de la PIC, por lo cual es el agente de primera línea en pacientes con hipovolemia y/o hiponatremia, también se ha observado que es más efectiva en casos donde la PIC es mayor de 30 mmHg, se relaciona con una menor estancia hospitalaria, requerimiento de UCI, pero no hay diferencia en la mortalidad a corto plazo(35).

Hiperventilación:

Es un método rápido para reducir la PIC en el contexto de un paciente pediátrico con riesgo inminente de herniación(8). Produce hipocapnia, la cual reduce la PIC por medio de la disminución del flujo y el volumen sanguíneo cerebral, producto de una vasoconstricción de las arteriolas cerebrales, no obstante se debe tener en cuenta que en las primeras 48 horas posterior al trauma hay una disminución del flujo sanguíneo cerebral, por lo cual el uso temprano de esta intervención puede producir isquemia cerebral subclínica y una subsecuente reducción de la oxigenación cerebral(6).

Se recomienda mantener la PaCO₂ de 30-35 mmHg en pacientes con hipertensión endocraneana refractaria, con un monitoreo constante de gases arteriales y curva de difusión de CO₂ para prevenir la reducción del flujo sanguíneo cerebral(6,8). Se ha encontrado que episodios prolongadas de hipocapnia con PaCO₂ <30 mmHg aumenta el riesgo de mortalidad; también se ha observado que mantener valores de PaCO₂ en valores de 36-45 mmHg posee una mejor tasa de supervivencia comparado con menor de 35 mmHg y mayor de 46 mmHg(29). En el contexto de urgencias se debe evitar el uso de esta intervención en pacientes con neurotrauma pediátrico (nivel de evidencia II)(29).

El uso de hiperventilación para manejo de la PIC, se utiliza en el contexto del neurotrauma pediátrico, debido a la acción del CO₂ en los vasos sanguíneos y su efecto en el flujo sanguíneo cerebral. Actualmente esta intervención cuenta con una recomendación de Nivel III, y se reserva únicamente para el manejo de la hipertensión endocraneana refractaria(36).

Drenaje de líquido cefalorraquídeo:

Esta intervención permite reducir el volumen dentro de la bóveda intracraneal para el manejo de la PIC de manera inmediata, pero transitoria, se inserta un drenaje ventricular externo, puede ser instaurado de manera continua o intermitente, en ciertos casos se puede adicionar un drenaje lumbar en caso de hipertensión endocraneana refractaria con un drenaje ventricular externo permeable y funcional, cisternas basales abiertas y sin evidencia de lesión con efecto de masa o desviaciones evidenciadas en neuroimágenes(6,8). Las posibles complicaciones de esta intervención son hemorragia e infección(6).

Es una intervención que actualmente cuenta con una recomendación de Nivel III, en el protocolo de manejo de la BTF del año 2019 se postula como una intervención inicial para el manejo de la PIC, solo si el paciente ya cuenta con un drenaje ventricular externo(36). Su uso es controversial, respecto a la manera en la que se debe realizar intermitente o continua, y la presencia de las variables que afectan la toma decisiones son: Edad, recursos institucionales y preferencias del clínico(36).

Hipotermia:

Inicialmente se encontró que esta intervención posee un efecto neuroprotector, el objetivo de esta intervención es prevenir la lesión secundaria, por medio de la disminución de las demandas metabólicas, disminución de la PIC y prevención de hipertermia, la cual provoca aumento del requerimiento metabólico, de peroxidación de lípidos, excitotoxicidad, inflamación, producción de radicales libres, óxido nítrico y disminución de los umbrales de convulsión; asimismo aumenta la probabilidad de neurotrauma secundario(6,8). Las guías de la BTF del año 2012 dan un nivel II de

evidencia para esta intervención con una duración recomendada de 48 horas, la cual se debe iniciar 8 horas después del trauma, seguida de un periodo de recalentamiento que no exceda una velocidad de 0.5 °C/h en un periodo de 12 a 24 horas, esta intervención es más efectiva como coadyuvante terapéutico(6,8,28).

Se han comparado los resultados de grupos de pacientes con normotermia contra hipotermia, donde han observado que esta última aumenta el riesgo de arritmias cardiacas y muerte(29). El estudio Hutchison se encontró que aquellos que eran sometidos a temperaturas de 32-33 °C comparados con los que se mantenían en normotermia, tenían resultados desfavorables a 6 meses con una mayor mortalidad, hipotensión y requerimiento de agentes vasoactivos, especialmente en el periodo de recalentamiento posterior a la hipotermia(29). Con un nivel III de evidencia la BTF recomienda una hipotermia moderada de 32-33 °C(28).

El uso de la hipotermia afecta el metabolismo de los medicamentos, por ejemplo en el caso de la fenitoína se disminuye su tasa de eliminación, lo cual aumenta su riesgo de toxicidad(29). Por lo tanto se recomienda mantener la normotermia en el contexto del neurotrauma pediátrico con un nivel de evidencia II(28).

Acorde a la guía de la BTF del año 2019 brinda para esta intervención una recomendación de Nivel III para el control de la PIC. Donde se debe mantener una hipotermia moderada (32-33 °C), con un periodo de recalentamiento de 0.5-1.0 °C cada 12 a 24 horas, esta intervención se encuentra dentro

de las opciones terapéuticas reservadas para hipertensión endocraneana refractaria, por lo cual es más efectiva como coadyuvante terapéutico(36).

Corticosteroides:

Su uso de rutina no está recomendado, debido a la escasez de evidencia que esta intervención posee, y al potencial de hacer daño debido a complicaciones de tipo infeccioso, esto debido a la supresión de cortisol endógeno que produce, se ha observado que aumenta el riesgo de neumonía(6).

Con respecto al uso de corticosteroides para disminuir la morbilidad en el contexto del trauma craneoencefálico existen estudios que muestran un cierto grado de ambigüedad en relación con los resultados(38). Existen estudios en los cuales no se ha encontrado mejoría al utilizar corticosteroides y otros en los cuales se ha encontrado inclusive aumento en la morbilidad; pese a esto existen algunas cortes en las cuales si se han encontrado beneficios en relación a la administración con estos medicamentos(38). En la actualidad estudios en relación con el estudio CRASH han indagado sobre la implementación de ácido tranexámico como manejo médico para el trauma craneoencefálico, mostrando resultados positivos (39). Sin embargo, algunos autores consideran que los estudios en relación al uso de medicamentos como estos al igual que los corticoesteroides son de cortes con poblaciones poco numerosas..

Los corticoesteroides fueron introducidos en los años 60s como tratamiento para el edema cerebral, sin embargo, estudios recientes sobre neurotrauma severo fallan en encontrar un beneficio. Un ejemplo es el estudio CRASH fue diseñado para proveer de evidencia de alta calidad sobre el

impacto de los esteroides en pacientes con neurotrauma, sin embargo, este estudio fue realizado en adultos(38). Esta intervención cuenta con una recomendación Nivel III, donde su uso no sugiere que mejore el desenlace clínico o sea efectivo en reducir la PIC(36).

Anticonvulsivantes:

La población pediátrica en general, especialmente los infantes poseen bajos umbrales convulsivos, por lo cual presentan un alto riesgo de convulsiones tempranas, por tal motivo se recomienda el uso de anticonvulsivantes profilácticos en neurotrauma severo, no obstante hay una gran controversia acerca de esta intervención, ya que se ha llegado a considerar que su uso no previene el desarrollo de epilepsia(6).

Las convulsiones agudas sintomáticas pueden ocurrir como resultado del neurotrauma, se denominan convulsiones post-traumáticas, las cuales se clasifican en tempranas cuando ocurren en los 7 primeros días luego del trauma y tardía cuando ocurren después de 7 días; la epilepsia post-traumática se define como convulsiones recurrentes de más de 7 días después de la lesión(28)

Las convulsiones post traumáticas son una complicación relativamente frecuente en neurotrauma, se clasifican como tempranas si se presentan en un lapso menor a 7 días posterior al trauma, generalmente ocurren dentro de las primeras 24 horas posterior al trauma; esta profilaxis solo es efectiva en la primera semana luego del trauma en prevenir convulsiones tempranas(8,29). Se ha encontrado una reducción significativa en el riesgo de convulsiones con el uso de fenitoína, se ha observado que la fosfenitoína o el fenobarbital también son útiles; hasta que no se tenga suficiente

evidencia disponible, la utilidad de la profilaxis anticonvulsiva en el neurotrauma pediátrico, seguirá siendo un tema de controversia, por lo cual la decisión de su uso se deja a decisión del clínico basándose en la sospecha clínica de que el paciente llegue a presentar algún tipo de actividad convulsiva(29).

La profilaxis anticonvulsiva luego de un neurotrauma busca prevenir el desarrollo de epilepsia junto con la aparición de herniación y muerte. Con una recomendación Nivel III, el uso profiláctico de fenitoína tiene un efecto positivo en la prevención de convulsiones post-traumáticas tempranas, en pacientes pediátricos con neurotrauma severo(36).

Nutrición:

Es una intervención de suma importancia en el contexto del neurotrauma severo, se recomienda hacer reemplazo nutricional completo en el día 7 posterior al trauma, debido a que estos pacientes pierden suficiente nitrógeno favoreciendo la pérdida de peso aproximadamente 15% por semana(6).

La nutrición del paciente con neurotrauma pediátrico, cumple un efecto coadyuvante, debido a que secundario al trauma la demanda nutricional aumenta. Se cree que el neurotrauma por sí solo causa un incremento intrínseco del metabolismo y requerimiento de soporte calórico, mediado principalmente por un mecanismo que sigue sin conocerse, esta intervención cuenta con una recomendación Nivel II en contra del uso de dietas inmuno-moduladas, y Nivel III para el inicio de temprano de nutrición enteral (72 horas) para disminuir la mortalidad(36).

Craniectomía descompresiva:

La craniectomía descompresiva es un procedimiento quirúrgico que consiste en retirar una porción del cráneo para aliviar el aumento excesivo de la presión que se acumula en la bóveda craneal secundario a los mecanismos fisiopatológicos que ocurren durante el neurotrauma en contextos donde no se logró estabilizar la PIC (ya sea por encefalopatía hipóxico-isquémica, trastorno metabólico, infección del sistema nervioso central u otros) con manejo médico(6,40). Se debe recordar que el aumento de la PIC puede llevar a una herniación; razón por la cual puede generar un amplio espectro de complicaciones, por tal motivo esta intervención puede resultar muy útil. Pese a este razonamiento lógico existen múltiples estudios que contradicen esta lógica dado que en se evidencia en la literatura que en ocasiones provee de óptimos resultados y otras veces no es tan eficaz, lo cual indica que se debe individualizar cada caso antes de realizar este procedimiento de forma temprana o tardía.

En este procedimiento en general se debe realizar en pacientes con deterioro clínico progresivo, herniación o hipertensión endocraneana refractaria; los pacientes pediátricos tienen diferentes desenlaces comparado con los adultos; dentro de las complicaciones se encuentran: herniación a través del defecto óseo, fuga de LCR, infección de la herida, hematoma epidural o subdural, e hidrocefalia postraumática(8). Existen distintas técnicas quirúrgicas para este procedimiento, por ejemplo abordaje fronto-temporo-parietal, bilateral o subtemporal, por lo tanto los resultados son muy variables entre cada uno de éstos tipos de abordaje, por lo general en pacientes pediátricos, se realiza craniectomía bifrontal(6,40). Al aumentar la variabilidad en las cualidades de la intervención pueden verse alterados los resultados que se encuentren al indagar sobre la eficacia de este tipo de intervención, limitando así una dificultad a la hora de evaluar la efectividad o el beneficio que pueden tener estos métodos frente

a otros (41). Por ejemplo en un estudio de Taylor et al en el que se intentaba buscar el efecto de la craniectomía descompresiva temprana en pacientes pediátricos que presentaron elevación sostenida de la PIC y ver si existía alguna mejora a largo plazo y en la calidad de vida de los pacientes entre otras variables, en donde se encuentra que el resultado fue positivo en cuanto a una reducción de la PIC además de presentar una mejoría respecto a quienes no se les realizaba dicho procedimiento durante los primeros seis meses posteriores al evento traumático (42). Sin embargo no en todos los estudios realizados se han encontrado resultados de este tipo, evidenciando incluso que no se encuentra una verdadera asociación frente al procedimiento y una disminución de la PIC y la muerte(43).

Esto demuestra la ambivalencia de resultados que surgen a partir de los estudios, dado que tanto en adultos como en población pediátrica los resultados no siempre son similares. Ejemplo de esto es aquello encontrado en la literatura por Cooper et sobre la diferencia de resultados entre pacientes a quienes se les llevó a cabo éste tipo de procedimientos quirúrgicos versus aquellos a quienes solo se les daba manejo médico(41). Pese a ser un estudio basado en población adulta se evidencia cómo aunque la si disminuye la incidencia de uso de terapias para disminuir la PIC a comparación con aquellos con manejo médico. No obstante en el mismo estudio que narran Cooper et al se encontró también que el seguimiento por medio de la Escala de Glasgow de coma a seis meses tenía mejores resultados en aquellos con manejo médico exclusivo(41). Pese a tratarse de un estudio con población adulta evidencia por lo tanto la ambivalencia de resultados que se encuentran con este tipo de terapia(41).

Otro claro ejemplo con población similar es aquel de Davide Nasi et Al en el se hizo una comparativa entre 190 pacientes adultos a los cuales se les realizó craniectomía descompresiva, donde buscaban factores que fuesen de buen pronóstico y otros de mal pronóstico, encontrando que los determinantes principales fueron un GCS de ingreso mayor a 5 y la presencia de pupilas con reactividad bilateral para el buen pronóstico a los 30 días, una de las complicaciones de mayor ocurrencia fue la hidrocefalia postraumática(44).

De tal forma, el estudio RESCUEip para evaluación de la craniectomía en PIC elevada e incontrolable intentará proveer información con niveles de evidencia de primera clase con respecto a la efectividad de dicho procedimiento, esto en pacientes con PIC refractaria a manejo médico y elevada secundaria a trauma craneoencefálico incluyendo pacientes desde los 10 hasta los 65 años de edad(45). Pese a que se esperaban resultados publicados cercanos a la salida de la guía de evidencia de la Brain Trauma Foundation aún no se ha terminado de analizar la información de los 280 pacientes incluidos en el estudio en 17 países(45).

La craniectomía descompresiva según la guía de manejo de la BTF le da un nivel de recomendación Nivel III, producto de falta de datos provenientes de ensayos clínicos controlados aleatorizados, que permitan dar un nivel de recomendación mayor a esta intervención(36). En general se recomienda realizar craniectomía descompresiva en pacientes pediátricos con neurotrauma severo, que presenten deterioro neurológico, herniación o hipertensión endocraneana refractaria a manejo médico(36).

Resultados

Del 100 % de las preguntas realizadas al panel de expertos (21) solo en el 42.8% (9) se obtuvo un consenso de mínimo el 70%. El escaso consenso se puede correlacionar con la falta de evidencia que existe. A partir de los resultados obtenidos podemos decir que nuestro panel de expertos considera:

Reanimación volumétrica:

- El líquido de elección para la reanimación volumétrica en el contexto del neurotrauma pediátrico debe de ser isotónico.
- No se considera necesario el uso de solución pediátrica dextrosada en el manejo del trauma agudo.

Sedación profunda, el uso de anestésicos y barbitúricos:

- Son más las complicaciones y limitaciones al utilizar técnicas de sedación profunda.
- Pese a las limitaciones en la evidencia científica se considera beneficioso el uso de estos medicamentos en esta entidad.

Terapia hiperosmolar:

- El uso de agentes hiperosmolares se considera como una terapia de primera línea para el manejo de la hipertensión endocraneana.
- En el contexto del paciente hemodinámicamente inestable el agente de elección es la solución salina hipertónica y no el manitol.
- En el contexto del paciente hemodinámicamente estable se prefiere el uso de solución hipertónica por encima del manitol.

- Durante la terapia hiperosmolar es fundamental el seguimiento de la osmolalidad plasmática
- La concentración preferida para la solución hipertónica fue la del 3%.
- El manitol no debería utilizarse en el manejo del neurotrauma pediátrico severo.

A partir de lo anterior llama la atención que en los tópicos donde se encontró menos evidencia, como es el caso de la sedación profunda, uso de anestésicos y barbitúricos se correlaciona con la carencia de consenso, llama la atención que pese a esto se considera que son medicamentos que han de ser utilizados, hecho que se correlaciona con la indicación del uso de estos como segunda línea según lo que plantea la literatura revisada. Por otro lado otros lineamientos como el no uso del manitol es acorde a las propuestas por las nuevas guías de práctica clínica.

Conclusión

Al realizar la revisión de la literatura se encontraron tres grandes conclusiones. Referente a la reanimación volumétrica los aspectos resaltados por la literatura disponible y revisada indican que la mejor forma de realizar una reanimación volumétrica en el paciente pediátrico es por medio de soluciones isoosmolares, entre ellas una de las más comunes la solución salina normal (0.9%); asociado a esto se hace hincapié en la necesidad de monitorear los parámetros electrolíticos de los pacientes al igual que sus valores glicemicos por el probable estado de ayuno al que se podría haber sometido el paciente o que se someterá según la necesidad y el grupo etáreo del paciente pediátrico que lo puede predisponer a llegar a un estado hipoglicémico. Se logra apreciar dentro del panel de expertos encuestados una tendencia acorde con la evidencia existente del uso de solución salina normal como método de primera instancia en la reanimación volumétrica hasta cierto nivel en que más del 70% ponen esta práctica en uso y realizan una recomendación de su mismo uso, lo que para nosotros

(siguiendo la metodología establecida) se logra establecer consenso respecto a su uso y extrapolarla a una recomendación de expertos, esta última sin estar determinada por alguna variable en particular como es el mecanismo del trauma o la severidad del mismo. De una manera opuesta pero semejante ocurre con las soluciones pediátricas siendo aquellas un cristaloiide dextrosado con contenido de sodio y potasio; en donde se establece un consenso entre los expertos acerca de su no uso en la práctica clínica habitual en el contexto de un paciente con trauma craneoencefálico.

Respecto a la terapia hiperosmolar se encontraron distintos datos, a resaltar el uso de solución salina hipertónica (específicamente al 3%) en general por encima del manitol dado que como se encontró en la literatura disponible su uso a comparación del manitol mostraba mejores resultados en cuanto a una disminución de la PIC al igual que una reducción del tiempo de estancia hospitalaria. Por último se encontró que la solución salina hipertónica al 3% tenía mayor aplicabilidad que el manitol dado que su uso resulta conveniente bien sea en el paciente hemodinámicamente estable como inestable, proporcionando así otra ventaja frente al manitol, recalcando así el hecho de ser una terapia de primera línea según las últimas guías de la Brain Trauma Foundation. De igual manera ocurre en el panel de expertos al momento de arrojar una recomendación frente al uso de la solución salina hipertónica al 3% en preferencia del manitol independiente del estado del paciente y hacen hincapié en el requerimiento de la monitorización continua de la osmolaridad plasmática

Respecto al uso de sedante, anestésicos y barbitúricos como se menciona en las guías actualizadas de la BTF el uso de la sedación profunda queda destinado como terapia de primera línea para el manejo de la hipertensión endocraneana que no responde ante otros manejos, sin embargo el

uso de barbitúricos permanece como terapia de segunda línea, recomendaciones que no corresponden a un primer nivel de evidencia. Hacen falta estudios en población pediátrica dado que una gran parte de los razonamientos son basados en evidencia extrapolada de la población adulta al grupo etario en cuestión.

Por último se evidenció que a la fecha aún muchas de las intervenciones mencionadas carecen de una indicación precisa para la toma de decisiones en el ámbito clínico. Muchas de estas aún deben de recaer en el clínico tratante, mostrando así la necesidad de un consenso, en particular a nivel Latinoamericano, el cual reúna el conocimiento de los expertos en el tema, aliviando así la falta de estudios que aún existe.

Bibliografía

- (1) Kannan N, Ramaiah R, Vavilala MS. Pediatric neurotrauma. International journal of critical illness and injury science 2014 Apr;4(2):131.
- (2) Mark Faul, Likang Xu, Marlena M. Wald, Victor G. Coronado. Traumatic Brain Injury in the United States: Emergency Department Visits, Hospitalizations and Deaths 2002–2006. Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Injury Prevention and Control 2010.

- (3) Belisle S, Lim R, Hochstadter E, Sangha G. Approach to Pediatric Traumatic Brain Injury in the Emergency Department. Current pediatric reviews 2018;14(1):4.
- (4) Romero-Rivera Hector Rolando, Calderon-Miranda Willem Guillermo, Rubiano Andres M, Cabeza-Morales Marticela, Alcala-Cerra Gabriel, Calderon-Miranda Willem, et al. Trauma Craneoencefálico Pediátrico En Un Centro De Referencia De Trauma En La Ciudad De Valledupar, Colombia
. Neurociencias En Colombia 2015 Marzo;Numero 1(Volumen 22):57-65.
- (5) Brunicardi FC, Andersen DK, Billiar TR. Schwartz: principios de cirugía (10a. ed.). Distrito Federal: McGraw-Hill Interamericana; 2015.
- (6) Takashi A, Hiroyuki Y, Akio M. Pediatric Traumatic Brain Injury : Characteristic Features, Diagnosis, and Management. Neurologia medico-chirurgica 2017;57(2):82-93.
- (7) Sarkar K, Keachie K, Nguyen U, Muizelaar JP, Zwienenberg-Lee M, Shahlaie K. Computed tomography characteristics in pediatric versus adult traumatic brain injury. Journal of Neurosurgery: Pediatrics 2014 Mar;13(3):307-314.
- (8) Kukreti V, Mohseni-Bod H, Drake J. Management of raised intracranial pressure in children with traumatic brain injury. Journal of pediatric neurosciences 2014 Sep;9(3):207.
- (9) Figaji AA. Anatomical and Physiological Differences between Children and Adults Relevant to Traumatic Brain Injury and the Implications for Clinical Assessment and Care. Frontiers in Neurology 2017 Dec 14,.
- (10) Prins ML, Matsumoto J. Metabolic Response of Pediatric Traumatic Brain Injury. Journal of Child Neurology 2016 Jan;31(1):28-34.
- (11) Pinto PS, Poretti A, Meoded A, Tekes A, Huisman TAGM. The Unique Features of Traumatic Brain Injury in Children. Review of the Characteristics of the Pediatric Skull and Brain, Mechanisms of

Trauma, Patterns of Injury, Complications and Their Imaging Findings—Part 1. Journal of Neuroimaging 2012 Apr;22(2):e1-e17.

(12) Prins M. Glucose metabolism in pediatric traumatic brain injury. Childs Nerv Syst 2017 Oct;33(10):1711-1718.

(13) Bonfield CM, Naran S, Adetayo OA, Pollack IF, Losee JE. Pediatric skull fractures: the need for surgical intervention, characteristics, complications, and outcomes. Journal of Neurosurgery: Pediatrics 2014 Aug;14(2):205-211.

(14) Blackwood, Brian P.|Bean, Jonathan F.|Sadecki-Lund, Corinne|Helenowski, Irene B.|Kabre, Rashmi|Hunter, Catherine J. Observation for isolated traumatic skull fractures in the pediatric population: unnecessary and costly. Journal of Pediatric Surgery 2016;51(4):654-658.

(15) Liu X, You C, Lu M, Liu J. Growing skull fracture stages and treatment strategy. Journal of Neurosurgery: Pediatrics 2012 Jun;9(6):670-675.

(16) Scheibl, Alexandra|Calderón, Elisenda Moliner|García Borau, Maria José|Prieto, Raúl Morales|González, Patricia Febles|Galiana, Gemma Ginovart. Epidural hematoma. Journal of Pediatric Surgery 2012;47(2):e19-e21.

(17) Gerlach R, Dittrich S, Schneider W, Ackermann H, Seifert V, Kieslich M. Traumatic Epidural Hematomas in Children and Adolescents: Outcome Analysis in 39 Consecutive Unselected Cases. Pediatric Emergency Care 2009 Mar;25(3):164-169.

(18) Jung S, Kim D. Our Experience with Surgically Treated Epidural Hematomas in Children. Journal of Korean Neurosurgical Society 2012 Apr 1;51(4):215-218.

- (19) Hochstadter E, Stewart T, Alharfi I, Ranger A, Fraser D. Subarachnoid Hemorrhage Prevalence and Its Association with Short-Term Outcome in Pediatric Severe Traumatic Brain Injury. *Neurocrit Care* 2014 Dec;21(3):505-513.
- (20) Öğrenci A, Ekşi M, Gün B, Koban O. Traumatic basal ganglia hematoma following closed head injuries in children. *Childs Nerv Syst* 2016 Jul;32(7):1237-1243.
- (21) Lichenstein R, Glass TF, Quayle KS, Wootton-Gorges SL, Wisner DH, Miskin M, et al. Presentations and Outcomes of Children With Intraventricular Hemorrhages After Blunt Head Trauma. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine* 2012 Aug 1;166(8):725-731.
- (22) Miller Ferguson N, Sarnaik A, Miles D, Shafi N, Peters MJ, Truemper E, et al. Abusive Head Trauma and Mortality-An Analysis From an International Comparative Effectiveness Study of Children With Severe Traumatic Brain Injury. *Critical care medicine* 2017 Aug;45(8):1398-1407.
- (23) Suskauer SJ, Huisman, Thierry A G M. Neuroimaging in pediatric traumatic brain injury: current and future predictors of functional outcome. *Developmental disabilities research reviews* 2009;15(2):117-123.
- (24) Wing, Robyn, MD|James, Catherine, MD. Pediatric Head Injury and Concussion. *Emergency Medicine Clinics of North America* 2013;31(3):653-675.
- (25) Fiona Lecky, Mukul Agarwal, Robin Clarke, Barbara Green, Kiera Hogarth, Peter Hutchinson, et al. Head injury: triage, assessment, investigation and early management of head injury in children, young people and adults (NICE guideline CG176)
. 2014 January.
- (26) Haqqani AS, Hutchison JS, Ward R, Stanimirovic DB. Protein Biomarkers in Serum of Pediatric Patients with Severe Traumatic Brain Injury Identified by ICAT–LC-MS/MS. *Journal of Neurotrauma* 2007 Jan;24(1):54-74.

- (27) Haqqani AS, Hutchison JS, Ward R, Stanimirovic DB. Protein Biomarkers in Serum of Pediatric Patients with Severe Traumatic Brain Injury Identified by ICAT–LC-MS/MS. *Journal of Neurotrauma* 2007 Jan;24(1):54-74.
- (28) Kochanek PM, Carney N, Adelson PD, Ashwal S, Bell MJ, Bratton S, et al. Guidelines for the acute medical management of severe traumatic brain injury in infants, children, and adolescents second edition. *Pediatric critical care medicine : a journal of the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies* 2012 Jan;13 Suppl 1:S1-S2.
- (29) Chong S, Lee KP, Lee JH, Ong GY, Ong MEH. Pediatric head injury: a pain for the emergency physician? *Clinical and Experimental Emergency Medicine* 2015 Mar 31;2(1):1-8.
- (30) Bell MJ, Adelson PD, Hutchison JS, Kochanek PM, Tasker RC, Vavilala MS, et al. Differences in medical therapy goals for children with severe traumatic brain injury-an international study. *Pediatric critical care medicine : a journal of the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies* 2013 Oct;14(8):811.
- (31) Samant UB, Mack CD, Koepsell T, Rivara FP, Vavilala MS. Time of Hypotension and Discharge Outcome in Children with Severe Traumatic Brain Injury. *Journal of Neurotrauma* 2008 May 1;25(5):495-502.
- (32) Bell MJ, Kochanek PM. Pediatric traumatic brain injury in 2012: the year with new guidelines and common data elements. *Critical care clinics* 2013 Apr;29(2):223.
- (33) Carcillo JA. Intravenous fluid choices in critically ill children. *Current opinion in critical care* 2014 Aug;20(4):396-401.
- (34) Kochanek PM, Tasker RC, Bell MJ, Adelson PD, Carney N, Vavilala MS, et al. Management of Pediatric Severe Traumatic Brain Injury: 2019 Consensus and Guidelines-Based Algorithm for First

and Second Tier Therapies. Pediatric critical care medicine : a journal of the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies 2019 Mar;20(3):269-279.

(35) Alnemari AM, Krafcik BM, Mansour TR, Gaudin D. A Comparison of Pharmacologic Therapeutic Agents Used for the Reduction of Intracranial Pressure After Traumatic Brain Injury. World Neurosurgery 2017 Oct;106:509-528.

(36) Kochanek PM, Tasker RC, Carney N, Totten AM, Adelson PD, Selden NR, et al. Guidelines for the Management of Pediatric Severe Traumatic Brain Injury, Third Edition: Update of the Brain Trauma Foundation Guidelines, Executive Summary. Pediatric critical care medicine : a journal of the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies 2019 Mar;20(3):280-289.

(37) Roumeliotis N, Emeriaud G. Pediatric traumatic brain injury: discussion about hyperosmolar therapy. Childs Nerv Syst 2017 Jan;33(1):11-12.

(38) The CRASH trial protocol (Corticosteroid randomisation after significant head injury) [74459797]. BMC Emergency Medicine 2001 Dec;1(1):1.

(39) Roberts I, Shakur H, Coats T, Hunt B, Balogun E, Barnettson L, et al. The CRASH-2 trial: a randomised controlled trial and economic evaluation of the effects of tranexamic acid on death, vascular occlusive events and transfusion requirement in bleeding trauma patients. Health technology assessment (Winchester, England) 2013 Mar;17(10):1.

(40) Nasi D, Dobran M, Rienzo A, Somma L, Gladi M, Moriconi E. Decompressive craniectomy for traumatic brain injury: the role of cranioplasty and hydrocephalus on outcome.
. World Neurosurgery 2018.

(41) Cooper DJ, Rosenfeld JV, Murray L, Arabi YM, Davies AR, D'Urso P, et al. Decompressive Craniectomy in Diffuse Traumatic Brain Injury. The New England Journal of Medicine 2011 Apr 21;;364(16):1493-1502.

(42) Taylor A, Butt W, Rosenfeld J, Shann F, Ditchfield M, Lewis E, et al. A randomized trial of very early decompressive craniectomy in children with traumatic brain injury and sustained intracranial hypertension. Child's Nerv Syst 2001 Feb;17(3):154-162.

(43) Farahvar A, Gerber LM, Chiu Y, Härtl R, Froelich M, Carney N, et al. Response to intracranial hypertension treatment as a predictor of death in patients with severe traumatic brain injury. Journal of neurosurgery 2011 May;114(5):1471-1478.

(44) Nasi D, Dobran M, Di Rienzo A, di Somma L, Gladi M, Moriconi E, et al. Decompressive Craniectomy for Traumatic Brain Injury: The Role of Cranioplasty and Hydrocephalus on Outcome. World Neurosurgery 2018 Aug;116:e543-e549.

(45) Hutchinson P, Koliass A, Timofeev I, Corteen E, Czosnyka M, Menon D, et al. Update on the RESCUEicp decompressive craniectomy trial. Critical Care 2011;15 Suppl 1(Suppl 1):P312.

Anexo

Resultados Consenso

Reanimación volumetrica	Preguntas	A	B	C	D
Mecanismo Trauma Y Liquido IV	1	36%	64%	0%	0%
Elección Tipo De liquidos IV	2	91%	9%	0%	0%
Agente De Reanimación	3	45%	55%	0%	0%
Severidad Y Elección De Liquido	4	55%	45%	0%	0%
Parametro Reanimación Efectiva	5	55%	45%	0%	0%
Uso Solución Pediatrica	6	0%	100%	0%	0%

Intervenciones Médicas En Neurotrauma Pediátrico: Una Síntesis Realista

Guillermo Andrés Ramírez León

Santiago Piñeros Arias

Adolfo Alejandro Montenegro Charry

Sedación profunda	Preguntas	A	B
Barbituricos Como Segunda Linea	1	45%	55%
Mas Complicaciones Que Beneficios	2	27%	73%
Uso Rutinario Barbituricos	3	36%	64%
Evidencia Sedación Y Uso Rutinario	4	36%	64%
Uso Sedantes Y Anestesicos	5	100%	0%
Benzodiacepinas	6	55%	45%
Relajantes Musculares	7	55%	45%
Uso antes De Manejo Quirurgico	8	64%	36%

Terapia hiperosmolar	Preguntas	A	B	C	D
Uso Como Primera Linea	1	73%	27%	0%	0%
Hipertonica Vs Manitol Inestable	2	100%	0%	0%	0%
Hipertonica Vs Manitol Estable	3	18%	82%	0%	0%
Seguimiento Osmolalidad	4	100%	0%	0%	0%
Hiperosmolar Sola Vs Otras	5	45%	55%	0%	0%
Concentración Hipertonica	6	73%	27%	0%	0%
No Uso De Manitol	7	18%	82%	0%	0%