

Estrategias para el empleo optimizado de la neuroimagenología en pacientes con traumatismo encéfalo craneano. Puesta al día

DR. ARIEL VARELA HERNÁNDEZ¹, DR. RODOLFO MUÑOZ GAJARDO¹,
DR. CLAUDIO MARTÍNEZ TERREU¹, DR. REINALDO TORRES ARAVENA¹,
DR. FÉLIX ORELLANA CORTEZ¹, DR. PATRICIO HERRERA ASTUDIÑO¹,
DR. LUIS LAMUS APONTE¹, DRA. MARÍA BERENICE GARCÍA GIMENEZ²

Abstract

Introduction: Introduction of current neuroimaging technologies has been essential for the agile and effective diagnosis of cranial brain injuries. However, for various reasons there is a tendency to indiscriminate use. A review of the topic was made aimed at providing an update on the recommended strategies for the optimized use of these technologies. **Material and method:** A review of the topic of the last five years was made, using the Medline / Pubmed and SciELO platforms of complete articles, in English and Spanish. We also included relevant articles, published in previous years, located in previous bibliographic reviews carried out by the authors.

Conclusions: Routine study with CT scan in all patients with head trauma is not cost effective, should be used in patients with Glasgow less than 15 points or in those with Glasgow of 15 points and risk factors of intracranial injury. Its use as a form of neuromonitoring is similarly useful, but on a selective basis. Magnetic Resonance Imaging is especially useful in the mediate or late periods of cranial trauma, in patients with clinical tomographic incongruences, very useful to establish prognosis in diffuse traumas and intracranial complications. Neurosonology is a useful tool for therapeutic decision.

Keywords: brain trauma, computed tomography, magnetic resonance, transcranial doppler.

1. Neurocirujanos. Servicio de Neurocirugía. Hospital Regional de Talca, Chile.

2. Especialista en Imagenología. Hospital Regional de Talca, Chile.

Trabajo presentado en las XXXI Jornadas de invierno de la Sociedad Chilena de Neurocirugía, 8-9 de junio de 2018, Talca.

Correspondencia

Dr. Ariel Verela Hernández

E.mail: varelahernandezariel@gmail.com

Introducción

A pesar de que la atención de pacientes con traumatismo encéfalo craneano (TEC) en la actualidad ofrece resultados no óptimos, sobre todo en aquellos con TEC grave, no caben dudas de los avances logrados si se comparan con los que se registraban en décadas precedentes.

Tanto las medias de prevención y la efectividad del tratamiento prehospitalario; así como el desarrollo del neurointensivismo, conductas neuroquirúrgicas más agresivas y la neurorehabilitación, destacan como responsables de dichos avances. Sin embargo, esto no sería posible si no existiera la manera de realizar un diagnóstico ágil y efectivo de las lesiones patoanatómicas de estos lesionados, hecho po-

sible a partir de la introducción de las nuevas técnicas neuroimagenológicas, las cuales eclosionaron con la Tomografía Computarizada (TC) en la década del 70 del pasado siglo. (1) En la actualidad se dispone de un grupo importante de técnicas imagenológicas que brindan no solo información estructural del encéfalo y sus cubiertas, sino también del flujo sanguíneo y la fisiología encefálicas (Tabla 1). Por otro lado, la mayor disponibilidad de las mismas, las ventajas que ofrecen su uso para la atención de estos complejos lesionados y la exacerbación en los últimos años de la judicialización de la práctica médica, han contribuido al empleo en ocasiones exagerado y poco racional de estas técnicas.

El objetivo de esta revisión consiste en brindar una actualización sobre las estrategias recomendadas para el empleo optimizado, de acuerdo al paradigma actual, de estas tecnologías.

Material y método

Se realizó una revisión del tema de los últimos cinco años, utilizando las plataformas Medline/Pubmed y SciELO de artículos completos, en inglés y español. Se emplearon como palabras clave “traumatismo encéfalo craneano”, “tomografía computarizada”, “resonancia magnética”, “doppler transcraneal”, así como sus traducciones en inglés. Fueron también incluidos artículos relevantes, publicados en años precedentes, localizados en revisiones bibliográficas anteriores llevadas a cabo por los autores.

Desarrollo

Usos y abusos de la TC de cráneo en el diagnóstico inicial:

La TC de cráneo sin contraste endovenoso constituye la tecnología más empleada en el cribaje de los pacientes con TEC en la fase aguda. En este sentido tiene grandes ventajas

como es el caso de tener alta sensibilidad y especificidad para el diagnóstico de lesiones focales traumáticas del encéfalo y en el caso de las difusas permite inferir el estado de la presión intracraneal (PIC), necesarias para la toma de decisiones terapéuticas oportunas y establecer el pronóstico; además no influye el empleo de sedación o de intoxicaciones exógenas. Por otro lado tiene gran resolución espacial (diagnóstico topográfico), los equipos actuales cuentan con tiempos de adquisición de imágenes de solo minutos y protocolos que disminuyen la emisión de radiaciones ionizantes.

También debe tenerse en cuenta algunas desventajas: de acuerdo al planteamiento de los cortes puede subestimarse el volumen de las lesiones focales (efecto de volumen parcial), pueden existir falsos negativos en el diagnóstico de lesiones hemorrágicas intracraneales agudas en casos de hematocrito bajo, subestima las lesiones encefálicas en casos con lesión axonal traumática (LAT), muestra menor sensibilidad en la detección de trastornos hemodinámicos e hidrodinámicos (a excepción de la hidrocefalia) del encéfalo, hasta en un 30% de los lesionados existe discordancia entre el diagnóstico tomográfico y el estado de la PIC, poca resolución temporal, se requieren traslados a la sala de imagenología con la posibilidad de desarrollar lesiones secundarias del encéfalo durante los mismos y emite radiaciones ionizantes sobre el paciente y el medio ambiente (2).

En este último aspecto vale aclarar que la dosis de radiación liberada en un TC de cráneo sin contraste equivale al de 100 Rx de tórax y el riesgo de neoplasias malignas radioinducidas está calculada en 1 / 1000 en el adulto y de 1 / 5000 en el niño. Estudios recientes han demostrado que en niños con radiación acumulativa mayor a 50 mGy al año se duplica el riesgo de Leucemia, el cual se triplica si llega a 60 mGy. (3)

Tomando en cuenta los anteriores datos es

evidente que se requieren sistemas organizativos que permitan la utilización óptima de este valioso recurso. Se ha visto en varios países desarrollados que el empleo rutinario de la TC de cráneo en todo paciente con sospecha de TEC no tiene utilidad terapéutica y no es costo efectiva, predomina la opinión de la indicación selectiva de la TC de cráneo en pacientes con TEC, basado en la detección de factores de riesgo relacionado con la ocurrencia de lesiones intracraneales traumáticas (4, 5).

En este sentido existen varias escalas y sistemas a nivel mundial. Destacan las Guías Canadienses, de New Orleans, las italianas y las dictadas por la Organización Mundial de la Salud en el año 2004. Los principales hallazgos que deben hacer considerar la realización de TC de cráneo en pacientes en la fase aguda del TEC son los siguientes: puntaje de Glasgow menor de 15 puntos por un periodo mayor a 2 horas después del TEC, cinemática violenta del trauma, detección de déficit neurológico focal, detección de síntomas neurológicos irritativos (cefalea intensa y vómitos recurrentes, signos meníngeos o convulsiones), signos clínicos o radiológicos de fractura craneal, así como antecedentes de coagulopatías o tratamiento con anticoagulantes (6, 7) (Tabla 2).

A pesar de lo anterior, la reciente publicación del resultados del estudio NEXUS II en EUA evidenció que en la últimas décadas se ha elevado en más del 30% el uso de TC de cráneo urgente en los lesionados craneales, sobre todo en aquellos que se mantienen con Glasgow de 15 puntos, donde el 90% muestra estudios normales y el requerimiento de intervenciones neuroquirúrgicas ocurre en menos del 1%. Precisaron que cerca del 23% de los casos donde se realizó la TC de cráneo no tenían adherencia a las indicaciones recomendadas para el examen. De acuerdo al mismo estudio, es segura la no realización de TC de cráneo en pacientes con TEC que no muestren alguno de las siguientes características: edad

superior a 65 años, fractura craneal, hematoma subgaleal, déficit neurológico, nivel de vigilia alterado, conducta anormal, coagulopatía o vómitos recurrentes (Tabla 3) (8, 9). En el caso de los lesionados pediátricos las guías PECARN son bastante similares, si bien plantean algunas diferencias en pacientes menores a 2 años de edad (10, 11) (Tabla 4).

Estado actual del empleo de biomarcadores de lesión traumática del encéfalo:

Una estrategia alternativa para la determinación de los lesionados craneales en los cuales sería útil la realización de TC de cráneo, es la determinación de las concentraciones plasmáticas o en el líquido cefalorraquídeo de determinadas sustancias relacionadas con la ocurrencia de lesiones traumáticas del encéfalo.

A pesar del estudio de múltiples moléculas prometedoras, como es el caso de: proteína S100 β (la más estudiada aunque con poca especificidad), proteína glial ácido fibrilar, enolasa neuroespecífica, proteína TAU, neurofilamentos fosforilados, productos de la desintegración de la alfa II espectrina, entre otros; esta estrategia no se encuentra avalada a nivel mundial. Solo las guías escandinávicas plantean la realización de TC de cráneo en pacientes con Glasgow de 15 puntos y sin signos neurológicos, solo si se detectan niveles plasmáticos de la proteína S100 β mayores o iguales a 0,1 μ g/l en las primeras 6 horas después del traumatismo.(12, 13, 14)

Utilidad de las escalas tomográficas:

Otra de las aristas aportadas por la neuroimagenología tiene relación con el tratamiento y el pronóstico. En el año 1992 se publica la escala de Marshall (Tabla 5), la cual se mantiene como la más empleada a nivel mundial. En los enfermos con lesiones tipo III y V la posibilidad de que se presente hipertensión endocraneana (HEC) supera el 60% y en aquellos con tipo IV es del 100%; datos relevantes en la decisión del monitoreo de la PIC, evacuación de

las lesiones intracraneales con volumen superior o igual a 25 ml o craniectomías descompresivas. En traumatizados con lesiones con efecto de masa temporales o frontales, debido al mayor riesgo de producir herniación transtentorial, se recomienda indicar la cirugía en lesiones con volumen superior a 20 ml o si se detecta borramiento de las cisternas perimesencefálicas ipsilaterales a la lesión, de manera independiente al estado de la PIC (15).

En relación al pronóstico de la evolución de los pacientes se ha visto mayor utilidad de la escala de Rotterdam (Tabla 6) al tomar en cuenta la existencia de hemorragia subaracnoidea (HSA) o intraventricular (HIV), así como la diferencia entre el hematoma extradural y el resto de las lesiones focales traumáticas (16, 17, 18).

A partir del año 2010 han aparecido en la literatura otras dos escalas, más granuladas respecto a sus predecesoras, que se encaminan a mejorar este rendimiento pronóstico. La escala de Estocolmo (Tabla 7) asume la luxación de la línea media como una variable continua, toma en cuenta la localización y volumen de la HSA o HIV y valoriza los signos de LAT. La escala más reciente en la literatura es la de Helsinki (Tabla 8), la cual ofrece mayor relevancia al tipo específico de lesión intracraneal traumática y evalúa el estado de la cisterna supraselar. A diferencia de la escala de Rotterdam, validada a partir del desarrollo del modelo pronóstico IMPACT, las dos últimas están aún en proceso de validación (19, 20, 21).

Valor actual de la radiología simple de cráneo y columna cervical:

A pesar de ser una tecnología de gran disponibilidad, bajo costo y bajo nivel de emisión de radiaciones ionizantes, es solo útil en la detección de lesiones craneales y eventualmente de neuromoencéfalo. Por otro lado, no es costo efectivo realizar de inicio este estudio si de antemano existen indicaciones para realizar TC de cráneo. Sin embargo en lugares donde se

requieren traslados distantes para realizar una TC de cráneo y el paciente no tiene criterios evidentes para el examen, es útil realizar Rx de cráneo simple en las vistas apropiadas si hay estigmas de lesión del cuero de cabelludo (ejemplo hematoma subgaleal) e inconciencia postraumática. En estos lesionados es probable que se demuestre una fractura craneal, en cuyo caso se fundamenta la derivación a un centro con disponibilidad de TC. (22)

En el caso del estudio con Rx simple del raquis se ha demostrado su utilidad en la determinación de lesiones vertebrales e interpretación del compromiso de la estabilidad espinal. Sin embargo varios estudios han demostrado mejor costo efectividad cuando se realiza la TC del raquis en el momento de la realización del examen de cráneo, en pacientes conscientes que refieren dolor raquídeo, signos neurológicos o en aquellos que muestran alteraciones de conciencia.

Empleo de la TC como forma de neuromonitoreo:

La lesión encefálica traumática constituye un proceso dinámico, además los resultados terapéuticos mejoran si el tratamiento se efectúa antes de la instalación de lesiones catastróficas de este noble órgano. Para ello es fundamental el neuromonitoreo, integrado por varias tecnologías que se aplican de manera multimodal. Dentro de ellas, la evaluación de los cambios estructurales que ocurren en las lesiones traumáticas encefálicas, mediante la TC de cráneo aplicada de forma secuencial, es la más empleada a nivel mundial (23, 24, 25).

Se conoce que la progresión de las lesiones detectadas en la TC inicial de cráneo se detecta en el 20% al 45% de los casos si se realiza una TC de cráneo secuencial, aunque en solo en el 13% de los mismos llega a repercutir en la evolución clínica, lo cual es mucho menos frecuente en los pacientes que se mantienen con escala de Glasgow superior a 13 puntos.

Los factores de riesgo relacionados con esta eventualidad que aparecen más fundamentados en la literatura son: TC de cráneo inicial precoz (realizada en las primeras 2 horas después del traumatismo), disminución progresiva en el puntaje de Glasgow, prolongación del tiempo parcial de tromboplastina, lesiones localizadas en lóbulos temporal o frontal, realización de craneotomías descompresivas, ausencia de hipotensión arterial en las primeras 24 horas del traumatismo y presencia de hemorragia subaracnoidea traumática (26, 27, 28, 29).

En un estudio previo llevado a cabo en 84 pacientes por el autor principal de este artículo, utilizando estadística multivariada, se encontró relación de causalidad entre la detección de un puntaje de Rotterdam superior a 0 en la TC de cráneo inicial y la progresión de las lesiones con repercusión terapéutica en la TC de control; de forma similar dicha progresión se relacionó con la detección de lesiones tomográficas Marshall III y IV en pacientes con cefalea y vómitos persistentes (30, 31).

En la actualidad no se cuenta con un estándar o recomendación validados a nivel mundial que organice la aplicación de la TC de cráneo secuencial de cráneo para el monitoreo estructural de los pacientes con TEC, sin embargo es evidente que se requiere de un sistema que permita la aplicación del mismo basado en evidencias más robustas que las aportadas por la opinión de cada médico o grupo sanitario tratante. En este sentido los autores de este trabajo han publicado previamente un algoritmo que ha sido de ayuda en el contexto local porque se ha basado en resultados de análisis estadísticos, además en la práctica ha permitido homogenizar criterios y se ha encaminado a la reducción de la realización de exámenes innecesarios (32).

En el mismo queda establecido la ausencia de utilidad clínica de la realización de TC de cráneo de control en pacientes con TEC que presentan Glasgow mayor a 13 puntos, TC

inicial de cráneo sin lesiones intracraneales (Marshall 1) y que evidencian mejoría clínica según lo esperado. En los pacientes operados después de realizar TC de cráneo inicial, se plantea realizar TC de cráneo secuencial de forma temprana (entre 8 y 12 horas después de la TC inicial) en pacientes que no cuentan con monitoreo de la PIC y se mantienen sedados o en los que se realizó TC inicial precoz; se recomienda realizar una secuencia habitual (en las 72 horas subsiguientes a la TC inicial) en pacientes con PIC controlada o en los que permanecen sin sedación y el examen clínico neurológico muestra estabilidad o mejoría; en todo paciente que muestre deterioro clínico o elevación de la PIC por encima de 20 mm de Hg por más de 15 minutos sin causa sistémica evidente, se realiza de inmediato control tomográfico (secuencia puntual) (Figura 1).

En el caso de los pacientes que no han resultado operados después del cribaje en el servicio de urgencias se plantea la realización de secuencia temprana en aquellos con TC precoz y Marshall III – IV o en aquellos con Marshall I – II relacionados con mecanismos traumáticos de alta energía o Rotterdam inicial mayor a 0; se practica secuencia habitual en pacientes con Marshall inicial I – II si el mecanismo de producción fue de alta energía o Rotterdam inicial mayor a 0; se toma una secuencia puntual en cualquier caso con deterioro clínico no explicado por causas sistémicas (Figura 2).

Utilidades de la Resonancia Magnética (RM) del encéfalo:

Como ya se había comentado la TC de cráneo subestima las lesiones traumáticas difusas del encéfalo, falencia mejorada con el estudio de RM. Se han detectado anomalías de la RM entre el 25% y el 40% de los traumatizados craneales con TC normales. Además de las técnicas estándares de tiempo ponderado en T1 y T2 existen otras de avanzada que mejoran aún más su rendimiento; tal es el caso del FLAIR para detectar pequeñas zonas de

necrosis, eco gradiente en T2 o SWI para detectar lesiones petequiales, técnicas de difusión para detectar edema citotóxico, tractografía que brinda información sobre lesiones microestructurales, entre otras. (33)

No obstante, el hecho de que esta tecnología es menos disponible respecto a la TC, requiere de tiempos de adquisición de imágenes mucho más largos, menor sensibilidad para la detección de hemorragia intracraneal aguda y lesiones craneales, la posibilidad de interferencia con marcapasos u otros equipos médicos ferromagnéticos o electrónicos y la suficiencia de la información obtenida en la TC para tomar las medidas terapéuticas más relevantes en el contexto agudo, propician la mayor utilidad de este examen en un periodo mediato o tardío después del TEC, en casos donde existe incongruencia entre el estado clínico desfavorable y la parvedad de las lesiones detectadas en la TC, brindando información relevante para el pronóstico o en disquisiciones médico legales. También en casos con sospecha de complicaciones postraumáticas como abscesos o empiemas intracraneales, fistula de líquido cefalorraquídeo o hidrocefalia, entre otras (34).

De acuerdo a este examen la LAT puede ser dividida en 4 grados: grado I, lesiones en la zona cortico subcortical de los hemisferios cerebrales (mortalidad del 4,5% y 69% de los pacientes sin secuelas); grado II, lesiones unilaterales del tallo cerebral (mortalidad del 16%, 22% de los lesionados persisten comatosos, solo el 25% sin secuelas); grado III, lesiones mesencefálicas bilaterales (mortalidad del 23,5%, 19% persiste en coma, secuelas en el 100%) y grado IV, lesiones pontinas bilaterales (mortalidad del 97,3%, 20% persiste en coma y 100% con secuelas). (35)

Utilidades de la neurosonología:

Estas técnicas basan su utilidad en que pueden ser aplicadas en la cabecera del enfermo; cuando se realizan por personal debidamente entrenado su información es rápida, vali-

da y fiable. Con el empleo del modo B a nivel cervical, a través de las orbitas o en zonas de craneotomías, brinda información anatómica relacionadas con disecciones vasculares traumáticas, existencia de luxación de la línea media o diagnóstico de lesiones intracraneales con efecto de masa, aspecto útil inclusive en el transoperatorio de los pacientes con TEC. Estudios actuales apuntan a la utilidad de la mediación del diámetro de la vaina del nervio óptico para la estimación no invasiva del estado de la PIC (36, 37).

Con el empleo del Doppler transcraneal pueden detectarse patrones circulatorios de alto flujo y baja resistencia, compatible con eretismo cardiovascular o vasospasmo; o de bajo flujo y alta resistencia, típicos de la HEC. Además se obtiene información relevante para evaluar el estado de la vasoreactividad cerebral, la determinación de la presión de perfusión cerebral óptima de forma individualizada y como coadyuvante para el diagnóstico de muerte encefálica, aspectos de gran relevancia en el contexto del neurointensivismo (38).

Conclusiones

El estudio con TC de cráneo es relevante para el diagnóstico anátomo clínico de los pacientes con TEC, aspecto trascendental para establecer un tratamiento oportuno y para el pronóstico, sin embargo su uso rutinario no está avalado, debe emplearse en lesionados con Glasgow menor a 15 puntos o en aquellos con Glasgow de 15 puntos y factores de riesgo de lesión intracraneal. También es útil su empleo como forma de neuromonitoreo, de manera similar sobre una base selectiva. La RM tiene utilidad sobre todo en los periodos mediatos o tardíos del TEC en pacientes con incongruencias clínico tomográficas, muy útil para establecer el pronóstico en los traumas difusos y en complicaciones intracraneales del TEC. La neurosonología constituye una herramienta útil para la toma de decisiones terapéuticas en estos lesionados.

Referencias

1. Carney N, Jotten M A, O' Reilly C, Ullunan S J, Hawryluk W J G, Bell J M, et al. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition. *Neurosurg.* 2017; 80: 6-15. Doi: 10.1227/NEU.0000000000001432.
2. Kim J J, Gean D A. Imaging for the Diagnosis and Management of Traumatic Brain Injury. *Neurotherapeutics.* 2011; 8(1): 39-53.
3. Alargic Z, Eriksson A, Drageryd E, Rezaei M S, Wick C M. A new-dose multi-phase trauma CT protocol and its impact on diagnostic assessment and radiation dose in multi-trauma patients. *Emerg Radiol.* 2017; 24: 509-518. Doi: 10.1007/s10140-017-1496-4.
4. Godoy D, Rubiano A, Rabinstein A A, Bullock R, Sahuquillo J. Moderate Traumatic Brain Injury: The Grey Zone of Neurotrauma. *Neurocrit Care.* 2016; 25: 306-19. Doi: 10.1007/s12028-016-0253-y.
5. Yuksen C, Sittichanbuncha Y, Patumanand J, Muengtawepongsa S, Sawanyawisuth K. Clinical predictive score of intracranial hemorrhage in mild traumatic brain injury. *Therapeutics and Clinical Risk Management.* 2018; 14: 213-18.
6. Ministerio de Salud. Guía Clínica Traumatismo Cráneo Encefálico moderado o grave. Santiago: Minsal.2013. Disponible en: <http://www.bibliotecaminsal.cl/wp/wp-content/uploads/2016/04/Traumatismo-Cr%C3%A1neoencefálico.pdf>.
7. De Angelis J, Lou V, Li T, Tran H, Bremjit P, McCann M, et al. Head CT for Minor Head Injury Presenting to the Emergency Department in the Era of Choosing Wisely. *West J Emerg Med.* 2017; 18 (5): 821-29. Doi: 10.5811/westjem.2017.6.33685.
8. Bellolio F M, Heien C H, Sangaralingham R L, Jeffery M M, Campbell L R, Cabrera D, et al. Increase Computed Tomography Utilization in the Emergency Department and Its Association with Hospital Admission. *West J Emerg Med.* 2017; 48 (5): 835-45. Doi: 10.5811/westjem.2017.5.34152.
9. Mower R W, Gupta M, Rodriguez R, Hendey W G. Validation of the sensitivity of the National Emergency X-Radiography Utilization Study (NEXUS) Head Computed Tomographic (CT) decision instrument for selective imaging of blunt head injury patients: An observational study. *PLoS Med.* 14 (7): e1002313. Doi: 10.1371/journal.pmed.1002313.
10. Won-Hyung K, Dong-Jun L, Se-Hoon K, Sung-Kon H, Jon Ch. Is routine Head CT Necessary for All Pediatric Traumatic Brain Injury? *J Korean Neurosurg.* 2015; 58(2): 125-30.
11. Dalt D 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; 44: 7-48. Doi: 10.1186/s13052-017-0442-0.
12. Luoto M T, Raj R, Posti P J, Gardner J A, Panenka J W, Iverson L G. A Systematic Review of the Usefulness of Glial Fibrillary Acidic Protein for Predicting Acute Intracranial Lesions Following Head Trauma. *Front.Neurol.* 2017; 8: 652. Doi: 10.3389/fneur.2017.00652.
13. Tsitsopoulos P P, Hamdeh A S, Marklund N. Current Opportunities for Clinical Monitoring of Axonal Pathology in Traumatic Brain injury. *Front. Neurol.* 2017; 8: 599. Doi: 10.3389/fneur.2017.00599.
14. Lagerstedt L, Egea-Guerrero J J, Bustamante A, Montaner J, Rodriguez-Rodriguez A, El-Rahal A, et al. H-FABP: A new biomarker to differentiate between CT- positive and CT- negative patients with mild traumatic brain injury. *PLoS ONE.* 2017; 12 (4): e0175572. Doi: 10.1371/journal.pone.0175572.
15. Munakomi S, Bhattarai B, Srinivas B, Cheriau I. Role of computed tomography scores and findings to predict early death in patients with traumatic brain injury: A re-

- appraisal in a major tertiary care hospital in Nepal. *Surg Neurol Int.* 2016; 7: 23-37. Doi: 10.4103/2152-7806.177125.
16. Maas A IR, Hukkelhoven Ch WPM, Marshall L F, Steyerberg E W. Prediction of Outcome in Traumatic Brain Injury with Computed Tomographic Characteristics: A Comparison between the Computed Tomographic Classification and Combinations of Computed Tomographic Predictors. *Neurosurg.* 2005; 57(6): 1173-82.
17. Deepika A, Prabhuraj R A, Sarikia A, Shukla D. Comparison of predictability of Marshall and Rotterdam CT scan scoring system in determining early mortality after traumatic brain injury. *Acta Neurochir.* 2015; 157: 2033-38. Doi: 10.1007/s00701-015-2575-5.
18. Charry D J, Falla D J, Ochoa D J, Pinzón A M, Tejada H J, Henriquez J M, et al. External Validation of the Rotterdam Computed Tomography Score in the Prediction of Mortality in Severe Traumatic Brain Injury. *J Neurosci Rural Pract.* 2017; 8 (Suppl 1): S23-S26. Doi: 10.4103/jnrp.jnrp 434 16.
19. Raj R. Siironem J, Skrifvars B M, Hernesniemi J, Kivisari R. Predicting Outcome in Traumatic Brain Injury: Development of a Novel Computerized Tomography Score. *Neurosurg.* 2014; 75: 632-47. Doi: 10.1227/NEU0000000000000533.
20. Thelin P E, Nelson W D, Vehuiläinen J, Nyström K R, Siironem J, Svensson M , et al. Evaluation of novel computerized tomography scoring systems in human traumatic brain injury: An observational, multicenter study. *PLoS Med.* 2017; 14(8): e1002368. Doi: 10.1371/journal.pmed.1002368.
21. Yao S, Song J, Li S, Cao C, Fang L, Wang C, et al. Helsinki Computed Tomography Scanning System Can Independently Predict Long-Term Outcome in Traumatic Brain Injury. *World Neurosurg.* 2017; 101: 528-33. Doi: 10.1016/j.wneu.2017.02.072.
22. Chawla H, Malhotra R, Yadav K R, Griwan S M, Paliwal K P, Aggarwal D A. Diagnostic Utility of Conventional Radiography in Head Injury. *Journal of Clinical Diagnostic and Research.* 2015; 58(2): 13-15.
23. Chesnut R M, Temking N, Carney N, et al. A trial of intracranial-pressure monitoring in traumatic brain injury. *N Engl J Med.* 2012; 367(26): 2471-81. Doi: 10.1056/NEJMoa1207363.
24. Brown C V, Zada G, Salim A, et al. Indications for routine repeat head computed tomography (CT) stratified by severity of traumatic brain injury. *J. Trauma.* 2007; 62(6): 1339-44.
25. Stocchetti N, Le Roux P, Vincent J L, et al. Clinical review: Neuromonitoring-an update. *Crit Care.* 2013; 17(1): 201. doi: 10.1186/cc11513.
26. Oertel M, Kelly F D, McArthur D, et al. Progressive Hemorrhage after Head Trauma: Predictors and consequences of the evolving injury. *J Neurosurg.* 2002; 96(1): 109-16. Doi: 10.3171/jns.2002.96.1.0109.
27. Stippler M, Smith C, Mc Lean A R, et al. Utility of routine follow-up head scanning after mild traumatic brain injury: a systematic review of the literature. *Emerg Med J.* 2012; 29(7): 528-32.
28. Shad M J, Shad S K, Kumar J, Sundaram K P. Role of routine repeat computed tomography of brain in patients with mild and moderate traumatic brain injury: A prospective study. *Asian J Neurosurg.* 2017; 12 (3): 412-15. Doi: 10.4103/1793-5482.180968.
29. Di G, Liu H, Jiang X, Dai Y, Chen S, Wang Z, et al. Clinical Predictors of Progressive Hemorrhagic Injury in Children with Mild Traumatic Brain Injury. *Front. Neurol.* 2017; 8: 560-65. Doi: 10.3389/fneur.2017.00560.
30. Varela-Hernández A, Paucar-Calderón JI, Tamakloe K, Silva-Adán S, Medrano-García R. Evolución tomográfica de los pacientes con traumatismos craneoencefálicos. *Rev Cubana Neurol Neurocir.* 2013; 3(1): 44-50.
31. Varela-Hernández A, Paucar-Calderón JI, Tamakloe K, Silva-Adán S, Medrano-García R. Pronóstico de empeoramiento tomográfico

co significativo en pacientes con traumatismo craneoencefálico. *Rev Arch Med Cmg.* 2013; 17(5): 531-43.

32. Varela H A, Martínez T C, Muñoz G R, Torres A R, Orellana C F, Lamus A L, et al. Algoritmo para la tomografía secuencial de cráneo en pacientes con traumatismo encéfalo-craneano. *Revista Chilena de Neurocirugía.* 2016; 42(1): 24-30.

33. Jong S H,A review of Traumatic Axonal Injury Following Whiplash Injury As Demonstrated by Diffusion Tensor Tractography. *Front. Neurol.* 2018; 9: 57. Doi: 10.3389/fneur.2018.00057.

34. Manolakaki D, Velmahos G C, Spaniolas K, de Moya M, Alam H B. Early Magnetic Resonance Imaging is Unnecessary in Patients with Traumatic Brain Injury. *J Trauma.* 2009; 66(4): 1012-14.

35. Firsching R. Coma after acute head injury. *Dtsch Arzteb Int.* 2017; 114: 313-20. Doi: 10.3238/arztebl.2017.0313.

36. Kim S P, Yu H S, Lee H J, Choi J H, Kim C B. Intraoperative Transcranial Sonography for Detection of Contralateral Hematoma Volume Change in Patients with Traumatic Brain Injury. *Korean J Neurotrauma.* 2017; 13 (2): 137-40. Doi: 10.13004/kjnt.2017.13.2.137.

37. Khan N M, Shallwani H, Khan U M, Shammim S M. Noninvasive monitoring intracranial pressure- A review of available modalities. *Surg Neurol Int.* 2017; 8: 51-70. Doi: 10.4103/sni.sni-403-16.

38. Lau J V, Arntfield T R. Point-of-care transcranial Doppler by intensivist. *Crit Ultrasound J.* 2017; 9: 21-32. Doi: 10.1186/s13089-017-0077-9.

Tecnología	Tipo de información obtenida
Angiografía	
Espectroscopia cercana al infrarrojo	
Ventriculografía	
Tomografía computarizada	
Resonancia magnética	Estructural y microestructural
Indirectos: Doppler transcraneal	
Directos:	
Cualitativos: SPECT	
Semicuantitativos: Xe/CT, perfusión CT	Flujo y metabolismo
Cuantitativos: PET	
Magnetoencefalografía	Funcional
Espectroscopia por resonancia magnética	Bioquímica

Tabla 1. Técnicas imagenológicas disponibles en pacientes con traumatismo encéfalo craneano. SPECT: tomografía por emisión de fotón simple, Xe/CT: tomografía con xenón estable, perfusión CT: tomografía computarizada con técnica de perfusión, PET: tomografía de emisión de positrones.

Glasgow menor a 15 puntos al menos dos horas después del traumatismo	Siempre
Glasgow de 15 puntos	Si: cinemática violenta del trauma, detección de déficit neurológico focal, detección de síntomas neurológicos irritativos (cefalea intensa y vómitos recurrentes, signos meníngeos o convulsiones), signos clínicos o radiológicos de fractura craneal, así como antecedentes de coagulopatías o tratamiento con anticoagulantes.

Tabla 2. Criterios para la realización de tomografía de cráneo urgente en pacientes con traumatismo encéfalo craneano.

Edad superior a 65 años
Fractura craneal
Hematoma epicraneal
Déficit neurológico
Nivel de vigilia alterado
Conducta anormal
Coagulopatía
Vómitos recurrentes

Tabla 3. Características que deben estar ausentes para eximir la realización de tomografía de cráneo urgente en pacientes con traumatismo encéfalo craneano.

Grupo de riesgo	Edad menor a 2 años	Edad menor a 2 años	Riesgo de lesión intracraneal	Recomendación
Alto	Glasgow menor a 15 Conducta alterada Signos de fractura de bóveda craneal	Glasgow menor a 15 Conducta alterada Signos de fractura de base craneal	4,4 %	TC siempre
Intermedio	Hematoma subgaleal Inconciencia superior a 5 seg Mecanismo severo Conducta alterada	Vómitos Inconciencia de cualquier duración Mecanismo severo Cefalea severa	4,4 %	TC siempre
Bajo	Ninguno de los anteriores	Ninguno de los anteriores	0,9 %	TC u observación
			Menor a 0,05 %	No realizar TC

Tabla 4. Criterios para la realización de tomografía de cráneo urgente en pacientes pediátricos con traumatismo encéfalo craneano.

TC: tomografía computarizada.

Tipo	Descripción de los signos tomográficos
I	Normal.
II	Lesiones pequeñas: Cisternas presentes con luxación de línea media < 5 mm o lesiones de densidad presentes, no presencia de lesiones hiperdensas o mixtas > 25 ml, puede incluir fragmentos óseos o cuerpos extraños.
III	Cisternas obliteradas: Cisternas comprimidas o ausentes, luxación de línea media < 5 mm o lesiones de densidad presentes, no presencia de lesiones hiperdensas o mixtas > 25 ml.
IV	Línea media luxada > 5 mm: Desplazamiento de línea media > 5 mm con cisternas comprimidas o ausentes, no presencia de lesiones hiperdensas o mixtas > 25 ml.
V	Lesión focal > 25 ml evacuada: Desplazamiento de línea media > 5 mm con cisternas comprimidas o ausentes y lesiones hiperdensas o mixtas > 25 ml.
VI	Lesión focal no evacuada.

Tabla 5. Clasificación tomográfica de Marshall para pacientes con traumatismo craneoencefálico.

A. Cisternas:	
• Normales	0
• Comprimidas	1
• Ausentes	2
B. Línea media:	
• Ausente o ≤ 5 mm	0
• > 5 mm	1
C. Hematoma epidural (para casos con lesiones de masa intracraneales mayores a 25 ml):	
• Presente	0
• Ausente	1
D. Hemorragia subaracnoidea o intraventricular:	
• Ausente	0
• Presente	1

Tabla 6. Puntaje de Rotterdam de acuerdo a los signos tomográficos de los pacientes con traumatismo craneoencefálico.

Variables	Puntaje
*HSAt:	
-Convexidad:	
1-5 mm	1
>5 mm	2
-Basal:	
1-5 mm	1
>5 mm	2
*HIV presente	2
Ecuación: Luxación de línea media (mm)/10+puntaje HSAt/2	
-1 si hematoma epidural	
+1 si lesión axonal traumática	
+1 si hematoma subdural	
+2 si hematoma subdural bilateral	

Tabla 7. Puntaje de Estocolmo

HSAt: hemorragia subaracnoidea traumática, HIV: hemorragia intraventricular.

Variables	Puntaje
*Tipo de hematoma:	
-Epidural	-3
-Subdural	2
-Intraparenquimatoso	2
*Volumen de hematoma > 25 ml	2
*HIV presente	3
*Cisterna supraselar:	
-Normal	0
-Comprimida	1
-Ausente	5

Tabla 8. Puntaje de Helsinki
HIV: hemorragia intraventricular.

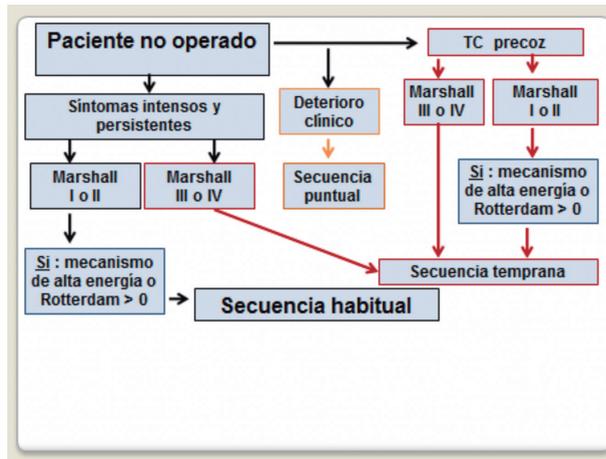


Figura 1: Algoritmo para la tomografía de cráneo secuencial en pacientes con traumatismo encéfalo craneano operados.

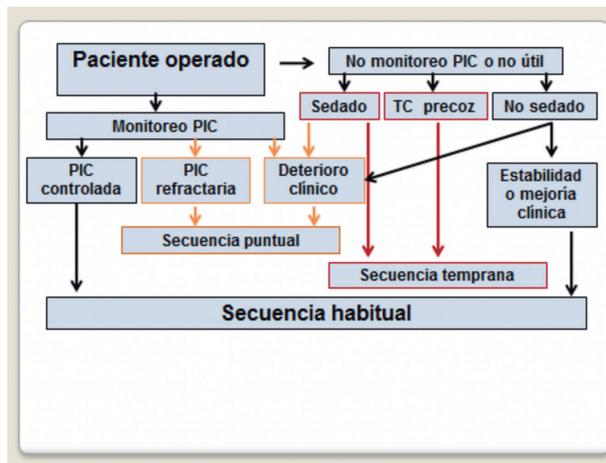


Figura 2: Algoritmo para la tomografía de cráneo secuencial en pacientes con traumatismo encéfalo craneano no operados.