

Lesión traumática cerebral aguda. Nuevas tendencias en monitorización de presión intracraneal, ¿Manejo sin monitorización invasiva?. Presión de perfusión cerebral individualizada y nuevas propuestas para el tratamiento.

Dra. Lydia Salvador (FEA)
Dra. María Gallego (MIR-3)

**Sesiones de Formación Continuada
Valencia 21 marzo 2023**

ÍNDICE

1. **INTRODUCCIÓN:**
 - a) PIC
 - b) Tª Monroe Kellie
 - c) Historia
 - d) Flujo sanguíneo cerebral y mecanismos compensadores
 - e) Autorregulación del FSC
 - f) HTIC, causas y consecuencias

2. **MONITORIZACIÓN DE LA PIC:**
 - a) Indicaciones
 - b) Beneficios y controversias

3. **LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO:**
 - a) Valores de PIC: la PIC como una señal compuesta
 - b) Complianza intracraneal (ICC) y distensibilidad cerebral
 - c) Presión de perfusión cerebral (PPC): concepto, autorregulación, PPC óptima

4. **MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE LA PIC:**
 - a) Invasivos
 - b) No invasivos

5. **CONCLUSIONES**
6. **BIBLIOGRAFÍA**

**Sesiones de Formación Continuada
Valencia 21 marzo 2023**

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN:

- a) PIC
- b) T^a Monroe Kellie
- c) Historia
- d) Flujo sanguíneo cerebral y mecanismos compensadores
- e) Autorregulación del FSC
- f) HTIC, causas y consecuencias

1. INTRODUCCIÓN

a) ¿QUÉ ES LA PIC?

Presión existente dentro de la bóveda craneana

- **PIC = PIC vascular + PIC LCR**, donde
PIC vascular depende de la TAS, autoR y drenaje venoso;
PIC LCR depende de la producción del LCR, resistencia al drenaje y presión en seno sagital.
- Por convención, la PIC representa la presión del LCR supratentorial medida en los ventrículos laterales o sobre la corteza cerebral.

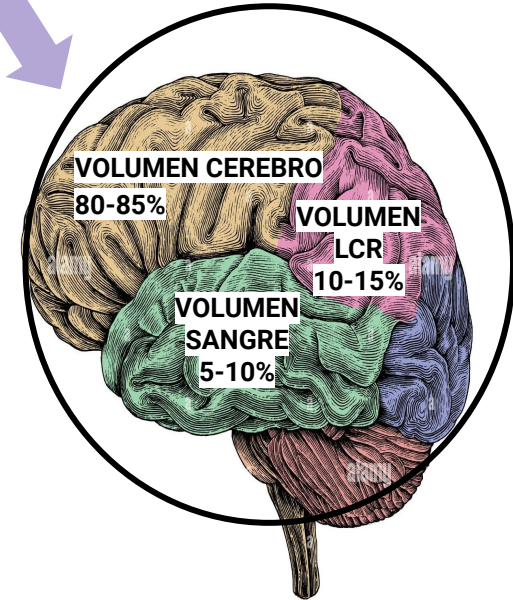


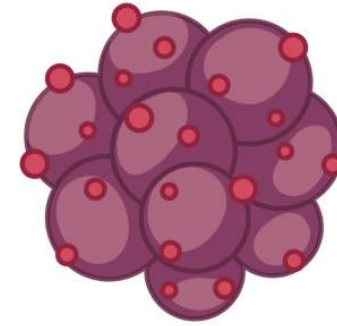
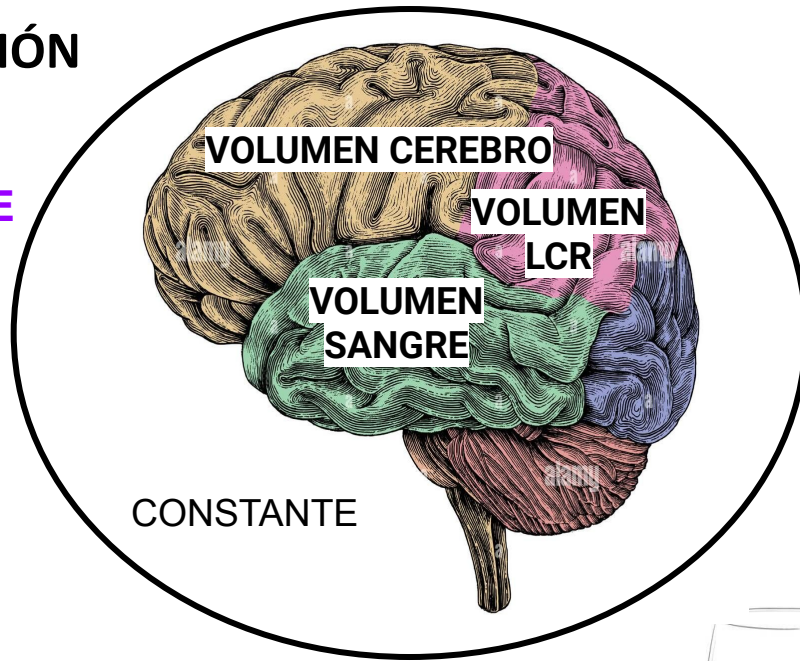
Table 1 Normal values of intracranial pressure monitoring

Age group	ICP value in mm of Hg
Adults (supine)	5 – 15
Children	3 – 7
Infants	1.5 – 6

[44] Nag DS, Sahu S, Swain A, Kant S. Intracranial pressure monitoring: Gold standard and recent innovations. *World J Clin Cases*. 2019 Jul 6;7(13):1535-1553. doi: 10.12998/wjcc.v7.i13.1535. PMID: 31367614; PMCID: PMC6658373.

1. INTRODUCCIÓN

b) TEORÍA MONROE - KELLIE



VOLUMEN MASA
EXTRAÑA

Monroe y Kellie compararon la PIC con una presión positiva creada por el cerebro, el volumen sanguíneo cerebral y el LCR en una caja de cráneo semirrígida. Estos componentes normalmente compensan los cambios entre sí, sin embargo, cuando la reserva se agota, se produce la hipertensión intracraneal.



60-80 mL en gente joven y
100-140 mL en población
geriátrica

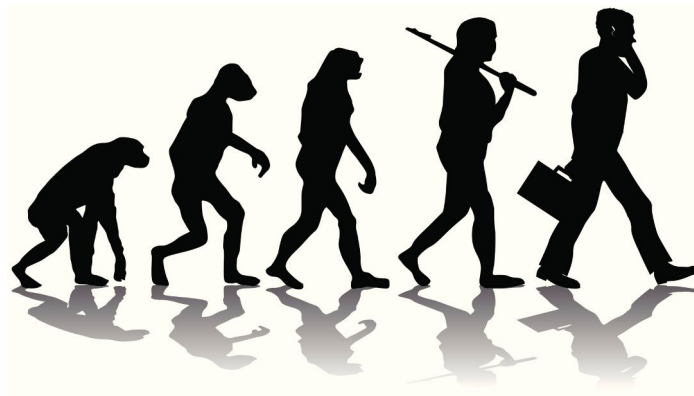


Inicialmente hasta 30
mL es bien
compensado



HTIC

1. INTRODUCCIÓN



c) HISTORIA

La monitorización de la PIC como una modalidad novedosa fue **introducida** en la fraternidad médica por Guillaume y Janny

1951

Se convirtió en una práctica establecida siguiendo las **recomendaciones** para su uso en las pautas de la fundación de trauma cerebral (BTF) por primera vez

1995

1960

El mérito de popularizar la monitorización de la PIC es de Lundberg, quien **sistematizó y estableció el protocolo** para su uso

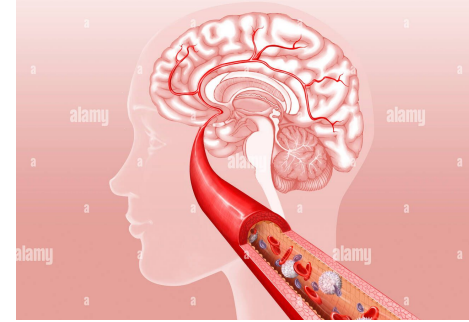
2016

Estas pautas comenzaron a **modificarse**

1. INTRODUCCIÓN

d) FLUJO SANGUÍNEO CEREBRAL

- 50 ml/100 gr/min (750 ml/min): 80% sustancia gris y 20% sustancia blanca.
- Supone el 20% del GC.
- Depende un 80% de las arterias carótidas y un 20% de las arterias vertebrales.
- FSC < 20 ml/100 gr/min se asocia a EEG plano y <10 ml/100 gr/ min a daño encefálico irreversible.
- Se puede medir indirectamente con Doppler transcraneal: Velocidad en la ACM (valores normales 55 cm/s, valores >120 cm/s indican vasoespasmo).



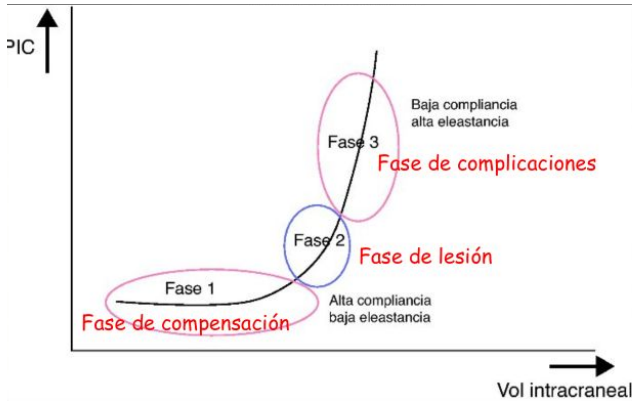
$$FSC = \frac{\text{Tensión arterial media (TAM)} - PIC}{\text{Resistencia vascular cerebral (RVC)}}$$

La TAM - PIC = **PPC** (presión de perfusión cerebral), por lo que:

$$FSC = \frac{PPC}{RVC}, \text{ que supone } 40\text{-}50 \text{ ml/100 g/min (15-20\% del GC).}$$

1. INTRODUCCIÓN

d) FLUJO SANGUÍNEO CEREBRAL Y MECANISMOS COMPENSADORES:



LCR:

- Desplazamiento de craneal a espinal
- Mayor absorción
- Menor producción

Volumen sanguíneo cerebral:

- Colapso venoso
- Vasoconstricción arterial

Inicialmente la expansión de volumen intracraneal se compensa con el movimiento de sangre fuera de la bóveda craneal

DEFORMACIÓN CEREBRAL

METABOLISMO CEREBRAL

- Depende obligatoriamente del **O₂** y de la **glucemia**.
- Alto consumo de oxígeno continuo y ausencia de reservas significativas.
- El funcionamiento celular depende del suministro continuo de glucosa, que se metaboliza en >90% por vía aerobia.
- El FSC será **paralelo a la actividad metabólica**.

Important

1. INTRODUCCIÓN

e) AUTORREGULACIÓN DEL FSC:

La **autorregulación cerebral** es el mecanismo que describe la estabilidad del flujo sanguíneo cerebral ante cambios en la presión de perfusión cerebral (o presión arterial).

El FSC es independiente de la PAM para valores 50-150 mmHg, ya que entre estos valores el FSC se **autorregula** para mantenerse constante.

→ Después de un traumatismo, la autorregulación cerebral puede afectarse

MECANISMOS DE AUTORREGULACIÓN

1

HEMODINÁMICOS

2

QUÍMICOS

3

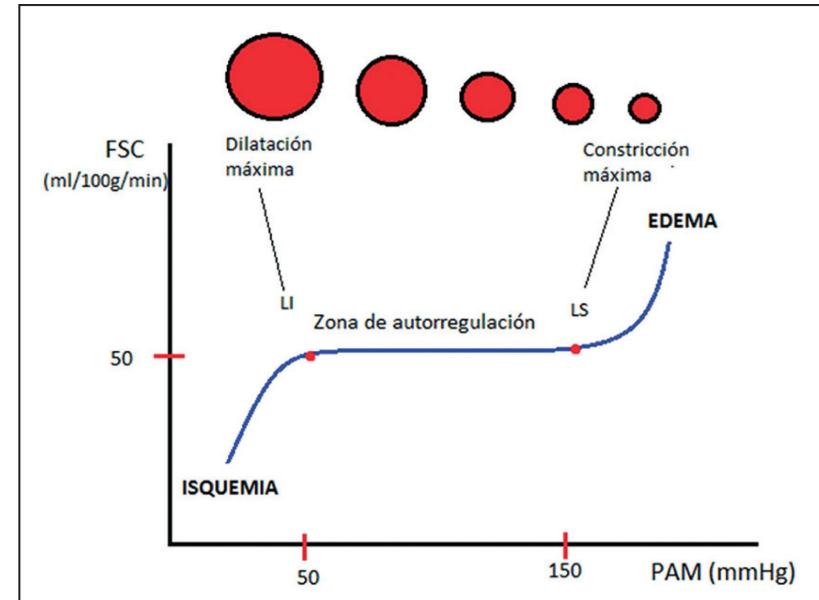
TEMPERATURA

4

NEURÓGENOS

5

VISCOSIDAD SANGUÍNEA



1. INTRODUCCIÓN

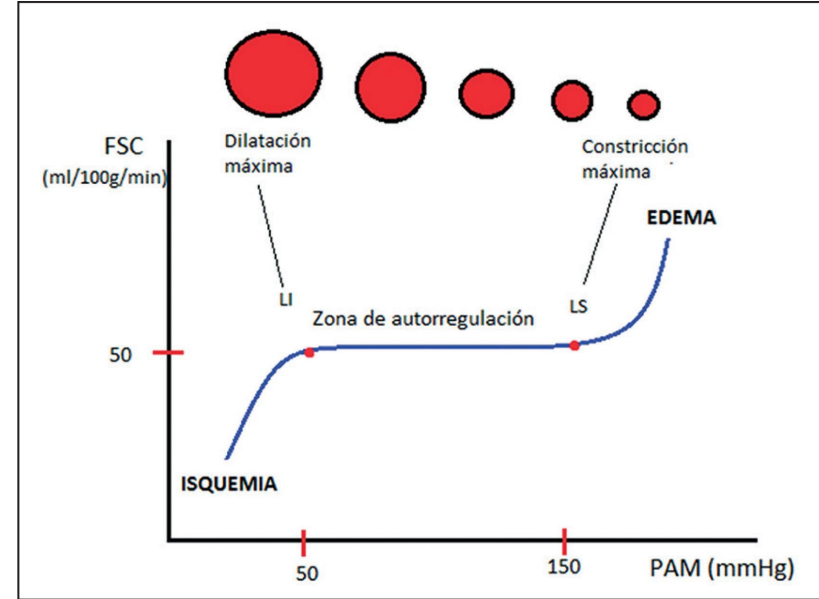
e) AUTORREGULACIÓN DEL FSC:

MECANISMOS DE AUTORREGULACIÓN

EL MECANISMO DE AUTORREGULACIÓN MÁS IMPORTANTE ES EL VASOMOTOR

1 HEMODINÁMICOS

- PAM < 50 mmHg: desplaza curva hacia la IZQ
- PAM > 150 mmHg: desplaza curva hacia la DCHA
- HTA: desplaza curva hacia la DCHA: los límites de autorregulación varían.



La reactividad a la presión cerebrovascular:

- La capacidad de la musculatura vascular de responder a los cambios de presión transmural/PAM mediante la vasodilatación y vasoconstricción

1. INTRODUCCIÓN

e) AUTORREGULACIÓN DEL FSC:

MECANISMOS DE AUTORREGULACIÓN

2

QUÍMICOS

- PaCO₂: relación lineal entre 20-80 mmHg. La hiperventilación provoca ↓ FSC.
- PaO₂: <50 mmHg efecto vasodilatador intenso → ↑ FSC.

3

TEMPERATURA

El FSC se modifica 5-7% por cada 1º de cambio. ↑ 10º : X2 tasa metabólica Y ↑ FSC
↓ 10º: 1/2 tasa metabólica Y ↓ FSC

4

NEURÓGENOS

Un estímulo SNA-SP importante: ↓ FSC un 5-10%.

5

VISCOSIDAD SANGUÍNEA

HEMATOCRITO: El suministro óptimo está con Hto 30% aprox.

1. INTRODUCCIÓN

f) HIPERTENSIÓN INTRACRANEAL

Elevación sostenida de la PIC por encima de los parámetros considerados dentro de la normalidad

Causas:

Volumen cerebral aumentado	Lesiones ocupantes de espacio: hematomas, tumores, abscesos, aneurismas Edema cerebral
Volumen sanguíneo aumentado	Obstrucción venosa (SVCS) Hiperemia Hipercapnia
LCR aumentado	Producción aumentada Absorción disminuida Obstrucción

Factores:

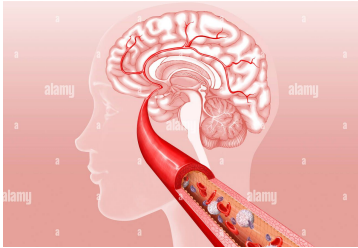
Hipercapnia CO₂ > 45 mmHg	Mecánica ventilatoria inapropiada Respiraciones superficiales
Hipoxemia O₂ < 50 mmHg	Mecánica ventilatoria inapropiada Oxigenoterapia insuficiente
Vasodilatación cerebral inducida por drogas	Ácido nicotínico, óxido nitroso, halotano, histamina
Maniobra de Valsalva	Toser, estornudar, movimientos, contracturas musculares
Posición corporal	Trendelemburg, decúbito ventral
Sueño REM	Despertar
Estímulos	Ruidos, movimientos de la cama, molestias viscerales

1. INTRODUCCIÓN

f) HIPERTENSIÓN INTRACRANEAL

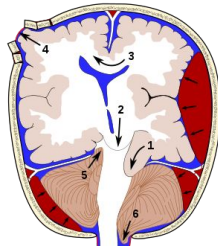
Consecuencias:

1.-Alteración del flujo sanguíneo cerebral



Normal: 40-50 ml/100 g/min
20 ml/100 g/min → Inconsciencia
18 ml/100 g/min → Metabolismo anaerobio
10 ml/100 g/min → Muerte celular en 3 h
5 ml/100 g/min → Muerte celular en 5 min

2.-Herniación del tejido cerebral



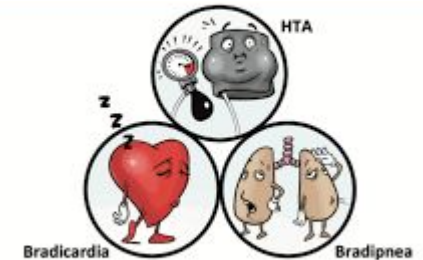
Clínica:

Triada inicial:



Progresión:

Disminución del nivel de conciencia, herniación cerebral, enclavamiento (Triada Cushing)



ÍNDICE

2. MONITORIZACIÓN DE LA PIC:

- a) Indicaciones
- b) Beneficios y controversias

2. MONITORIZACIÓN DE LA PIC

a) INDICACIONES



La principal área para monitorizar la PIC es la Unidad de Cuidados Neuro-Críticos.

Table 1. Potential indications for intracranial pressure monitoring.

Traumatic brain injury	
Intracranial hemorrhage	
Subarachnoid hemorrhage	
Cerebral edema	[6] Moraes FM, Silva GS. Noninvasive intracranial pressure monitoring methods: a critical review. <i>Arq Neuropsiquiatr</i> . 2021 May;79(5):437-446. doi: 10.1590/0004-282X-ANP-2020-0300. PMID: 34161530; PMCID: PMC9394557.
Hydrocephalus	
Hepatic encephalopathy	
Cerebral ischemia	

<https://doi.org/10.1590/0004-282X-ANP-2020-0300>

VIEW AND REVIEW

Noninvasive intracranial pressure monitoring methods: a critical review

Métodos de monitorização não invasivos da pressão intracraniana: uma revisão crítica
Fabiano Moulin de MORAES¹, Gisete Sampaio SILVA¹

Table 2 Indications of intracranial pressure monitoring

Indications	
Traumatic brain injury	
Haemorrhage	[44] Nag DS, Sahu S, Swain A, Kant S. Intracranial pressure monitoring: Gold standard and recent innovations. <i>World J Clin Cases</i> . 2019 Jul 6;7(13):1535-1553. doi: 10.12998/wjcc.v7.i13.1535. PMID: 31367614; PMCID: PMC6658373.
- Intracranial haemorrhage	
- Subarachnoid haemorrhage	
Cerebral edema	
Cerebral abscess	
Hydrocephalus	
Hepatic encephalopathy	
Cerebral ischaemia	



Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury
4th Edition

Indicaciones claras para monitorizar la PIC en

TBI:

TBI severo con TAC normal: la monitorización está indicada si se cumplen ≥ 2 : (1) >40años, (2) Postura motora uni o bilateral, (3) PAS <90mmHg.

TBI donde la PIC en las 1^{as} 48h es un predictor independiente de mortalidad y funcionalidad en los siguientes 6 meses.

Lesiones no traumáticas como sangrados cerebrales (HSA e intraparenquimatosos espontáneos) e infecciones del SNC.

Enfermedades subagudas o crónicas relacionadas con alteraciones del FSC (hidrocefalia, HTIC idiopática, malformación de Chiari).

2. MONITORIZACIÓN DE LA PIC

B) CONTROVERSIAS

Review > Curr Opin Crit Care. 2014 Apr;20(2):141-7. doi: 10.1097/MCC.0000000000000078.

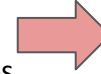
Intracranial pressure after the BEST TRIP trial: a call for more monitoring

Peter Le Roux¹


Affiliations + expand

PMID: 24584171 DOI: 10.1097/MCC.0000000000000078

- Grupo 1: Monitorización PIC
- Grupo 2: Signos clínicos y TAC seriados



Tendencia a una menor mortalidad y una mejor atención en el grupo 1.
En términos de resultados, ambos grupos lograron los mismos.

- 
- **No existe suficiente evidencia definitiva** que sustente la utilidad de monitorizar la PIC para mejorar los resultados de los pacientes.
 - Algunos estudios han demostrado que mejora las tasas de supervivencia, mientras otros sugieren que **pueden empeorar los resultados** (incremento de mortalidad, prolongar la hospitalización, incrementar la tasa de complicaciones y los costes de hospitalización) en pacientes con TBI.
 - La **falta de indicaciones claras** crea controversias en la técnica invasiva para monitorización.

Limitaciones de la medición de la PIC invasiva:

Relacionadas con su **naturaleza invasiva**: desplazamiento del catéter, hemorragias intracerebrales, infecciones

Definir el **nivel cero** para catéteres con fluidos: más frecuentemente el foramen de Monroe / CAE

Inexactitud o interferencia de las señales de PIC: burbujas de aire o residuos en catéteres que obstruyen parcial o totalmente

2. MONITORIZACIÓN DE LA PIC

b) BENEFICIOS



La medida de la PIC es considerada un estándar en la **terapia guiada** de pacientes con lesión cerebral severa.

La técnica **Gold Standard** para monitorizar la PIC es mediante técnicas invasivas (intraventricular o intraparenquimatoso). Otros métodos no invasivos no han demostrado la suficiente evidencia para reemplazar las técnicas invasivas.

2. MONITORIZACIÓN DE LA PIC

b) BENEFICIOS Y CONTROVERSIAS



Estos estudios comienzan a replantearse temas que parecían establecidos

Se podría argumentar que la monitorización de la PIC mediante catéteres intraventriculares sólo se justifica ante la necesidad de drenaje del LCR

El beneficio clínico de medir la PIC recae en un debate de la literatura científica.

No hay evidencia clase I para el beneficio clínico, incluso para TBI que es la principal área de uso.

Hoy en día sigue siendo necesario, especialmente en el área de lesión cerebral traumática.

ÍNDICE

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

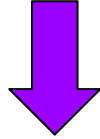
a) Valores de PIC: la PIC como una señal compuesta

b) Viejos conceptos para nuevas aplicaciones: Complianza intracraneal (ICC), elastancia intracraneal y síndrome compartimental

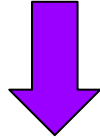
c) Viejos conceptos para nuevas aplicaciones: Presión de perfusión cerebral (PPC). Concepto, autorregulación, PPC óptima

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

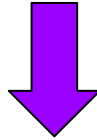
La simplificación de tratar la PIC elevada como un número: ¿20 mm Hg, 22 mm Hg, 25 mmHg?



Cada vez hay más evidencia de que existe disfunción celular cerebral e hipoxia con una PIC “normal”



La PIC representa la macrocirculación
La disfunción cerebral comienza desde la microcirculación



MONITORIZACIÓN MULTIMODAL



Si bien se ha demostrado que la monitorización de la PIC tiene efectos beneficiosos en pacientes con lesiones neurológicas, **para obtener mejores resultados sería prudente usarla junto con otros monitores cerebrales**

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

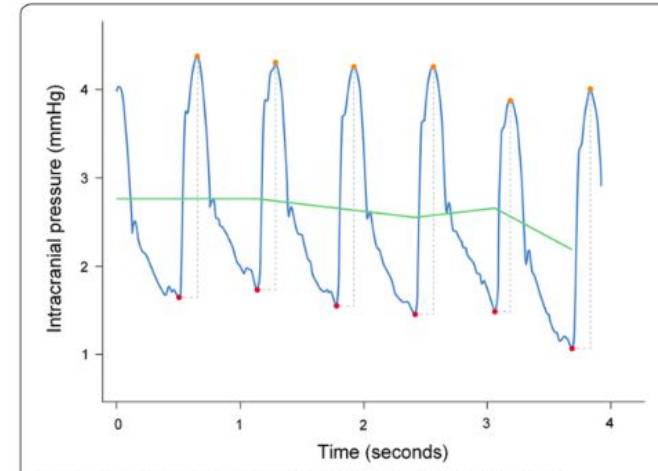


a) VALORES DE PIC: la PIC como una señal compuesta

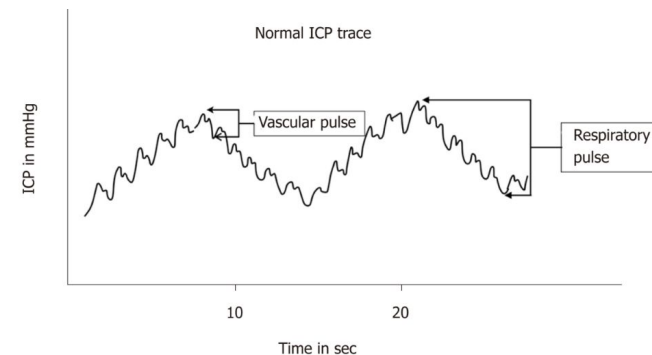
Valor estático: el valor numérico, "PIC media", valor de presión absoluto. En mmHg, cmH2O y Pascal (Pa).

Valor dinámico: ANÁLISIS DE LA ONDA

- Pulsátil:** cambios de presión que ocurren durante el ciclo cardíaco (1 a 4 mmHg)
→ El parámetro más estudiado: **Amplitud de onda PIC / AMP / MWA** (diferencia de presión pico-pico, o la respuesta de presión al cambio de volumen intracraneal durante los latidos cardíacos).
- Ondas lentas:** fluctuaciones de baja frecuencia en la PIC media estática relacionadas con la respiración (2 a 10 mmHg)



[19] Evensen KB, Eide PK. Measuring intracranial pressure by invasive, less invasive or non-invasive means: limitations and avenues for improvement. *Fluids Barriers CNS.* 2020 May 6;17(1):34. doi: 10.1186/s12987-020-00195-3. PMID: 32375853; PMCID: PMC7201553.



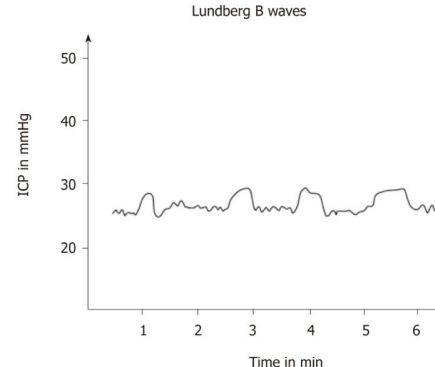
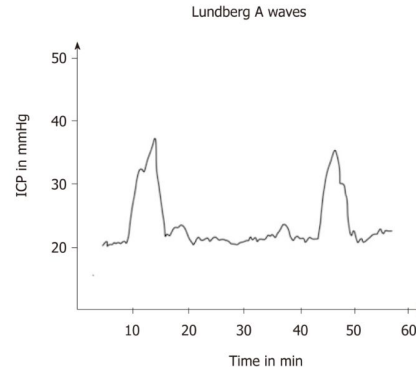
[44] Nag DS, Sahu S, Swain A, Kant S. Intracranial pressure monitoring: Gold standard and recent innovations. *World J Clin Cases.* 2019 Jul 6;7(13):1535-1553. doi: 10.12998/wjcc.v7.i13.1535. PMID: 31367614; PMCID: PMC6658373.

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

a) VALORES DE PIC: la PIC como una señal compuesta

El aumento de la PIC puede dibujar 3 tipos de ondas en la PIC estática: **Ondas de Lundberg**

- A.** Importante elevación de la PIC (50-100 mmHg) que persiste durante 5-10 min.
Indica alto grado de isquemia cerebral y probablemente herniación cerebral.
- B.** Elevaciones de la PIC (variables, de hasta 30-50 mmHg) de corta duración (0.5-2 ondas/minuto) y rítmicas.
Indican que la evolución de la lesión cerebral causa un aumento gradual de la PIC.
- C.** Se correlacionan con fluctuaciones de presión sanguínea relacionadas con reflejos de baro y quimiorreceptores.
Sin significación clínica.

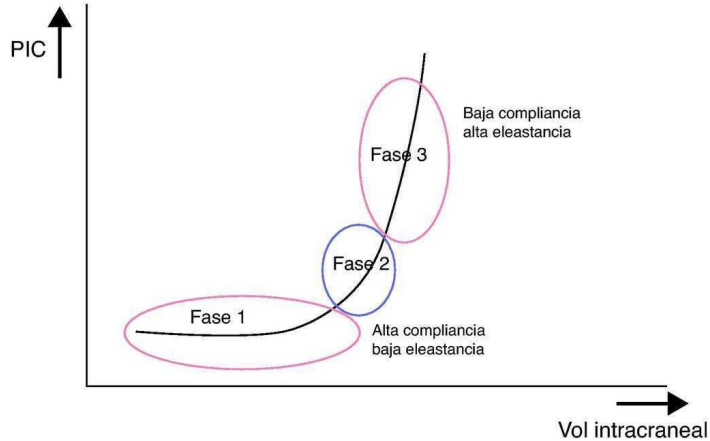


[44] Nag DS, Sahu S, Swain A, Kant S. Intracranial pressure monitoring: Gold standard and recent innovations. *World J Clin Cases.* 2019 Jul 6;7(13):1535-1553. doi: 10.12998/wjcc.v7.i13.1535. PMID: 31367614; PMCID: PMC6658373.

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: Complianza intracraneal (ICC)

Complianza intracraneal (ICC): La capacidad de reserva o amortiguación presión-volumen.



La curva presión-volumen describe la relación entre los cambios de PIC y los cambios en los componentes del volumen intracraneal (ej. sangre, FSC, masa).

La relación entre el cambio de presión respecto al cambio de volumen se denomina **Elastancia intracraneal (ICE; $ICE=dP/dV$)**, y es la inversa de la complianza intracraneal (**ICC; $ICC=1/ICE$**).

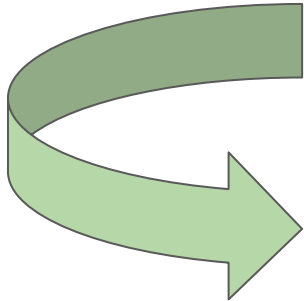
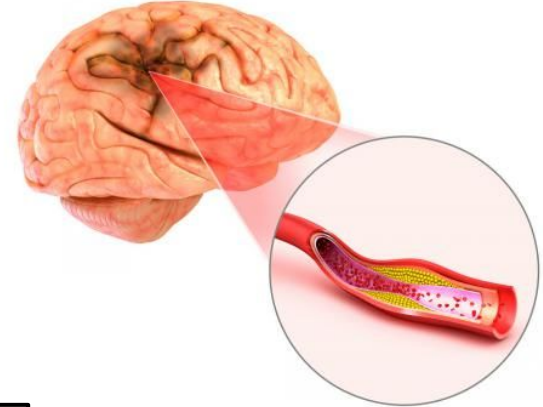
Rodríguez-Boto G, Rivero-Garvía M, Gutiérrez-González R, Márquez-Rivas J. Basic concepts about brain pathophysiology and intracranial pressure monitoring. *Neurologia*. 2015 Jan-Feb;30(1):16-22. English, Spanish. doi: 10.1016/j.nrl.2012.09.002. Epub 2012 Dec 13. PMID: 23246212.

Así, la complianza intracraneal se refiere a **la capacidad** de los componentes intracraneales **para compensar el incremento de PIC secundario a los cambios en el volumen intracraneal.**

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: Complianza intracraneal y Síndrome compartimental

Pequeños incrementos de volumen se compensan bien en un inicio, pero al final se alcanza un punto en el que los incrementos posteriores provocan elevaciones precipitadas de la PIC que pueden precipitar en un **síndrome compartimental**.



El síndrome compartimental intracraneal es un **conjunto de síntomas y signos clínicos precipitados por un aumento de la PIC**. Requiere un diagnóstico y tratamiento rápidos. De lo contrario, puede progresar a **isquemia, herniación y la muerte cerebral**.

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: Complianza intracraneal (ICC)

Formas de medir la ICC:

1. Cambios mínimos de volumen intracraneal:

Balón que se infla y desinfla, conectado a un sensor PIC o al drenaje del LCR.

Principal limitación: la necesidad de sumar o restar volumen del compartimento intracraneal, invasivo y asociado a riesgos.

2. Ondas de PIC

La **amplitud de la onda** (pico-pico) / **MWA** → el de mayor rendimiento.

Si entendemos que los cambios de volumen intracraneal producidos por el ciclo cardíaco son constantes, los cambios de presión que dibujan la rampa actúan como indicador de la ICC.

NEUROSCIENCE FOR NEUROLOGISTS

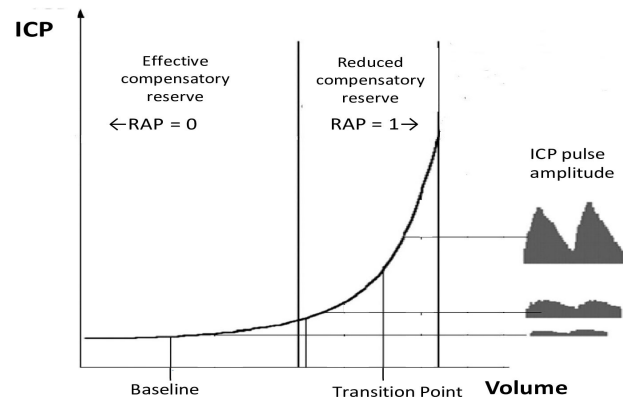
Monitoring and interpretation of intracranial pressure

M Czosnyka, J D Pickard

J Neurol Neurosurg Psychiatry 2004;75:813-821. doi: 10.1136/jnnp.2003.033126

RAP index: coeficiente de correlación entre la amplitud del pulso (MWA) y la PIC media durante períodos de tiempo de 4 minutos.

Un índice cercano a 0 es indicativo de buena ICC; mientras que cuando se acerca a +1 se considera ICC deteriorada.



3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: Complianza intracraneal (ICC)

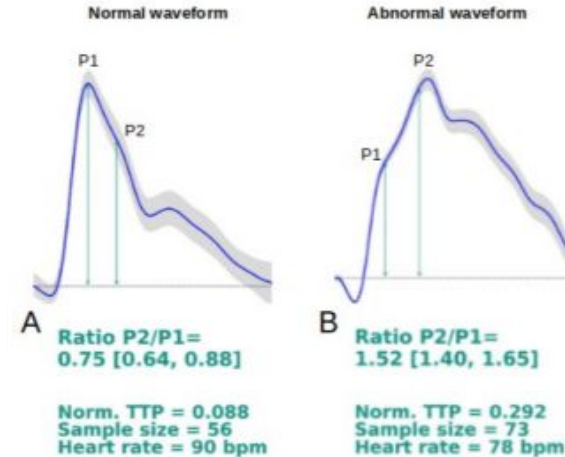
Formas de medir la ICC:

2. Ondas de PIC

P1 = onda de percusión = presión sistólica.

P2 = onda de marea = presión en el LCR, termina en una escotadura dicrótica.

P3 = onda dicrótica = la presión diastólica se encuentra inmediatamente después de la escotadura.



[6] Moraes FM, Silva GS. Noninvasive intracranial pressure monitoring methods: a critical review. *Arq Neuropsiquiatr.* 2021 May;79(5):437-446. doi: 10.1590/0004-282X-ANP-2020-0300. PMID: 34161530; PMCID: PMC9394557.

> [J Neurosurg.](#) 1983 Nov;59(5):817-21. doi: 10.3171/jns.1983.59.5.0817.

Analysis of the cerebrospinal fluid pulse wave in intracranial pressure Separando los picos P1-P3 de la onda de PIC:

- Los picos de marea P2 y P3 superan el pico sistólico (P1) con la desaparición de la muesca dicrótica (P2 > P1).
- Forma redondeada de la curva.

E R Cardoso, J O Rowan, S Galbraith

PMID: 6619934 DOI: 10.3171/jns.1983.59.5.0817

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: Presión de Perfusión cerebral (PPC)

CONCEPTO DE PPC:

La **presión de perfusión cerebral (PPC)** es la presión necesaria para perfundir el tejido nervioso para un buen funcionamiento metabólico.

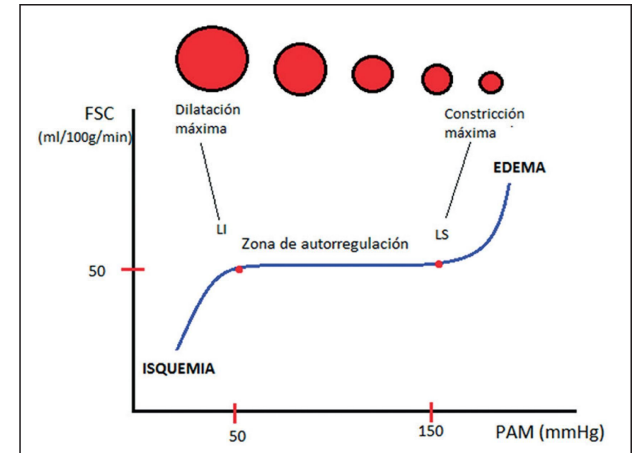
$$PPC = PAM - PIC$$

Valores normales 60-70 mmHg



PPC Y AUTORREGULACIÓN:

La **autorregulación cerebral (AC)** es el mecanismo que permite mantener el flujo sanguíneo cerebral ante cambios en la presión de perfusión cerebral.



3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: PPC Y AUTORREGULACIÓN CEREBRAL (AC)

- Después de un traumatismo, la autorregulación cerebral puede afectarse
- Está directamente relacionado con la morbilidad de los pacientes, empeorando el pronóstico cuando se exceden los límites
- Es esencial valorarlo de forma individual en cada paciente



MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA AUTORREGULACIÓN CEREBRAL	
Doppler transcraneal	Índice de flujo medio – Mx
Espectroscopia de infrarrojo cercano	Índice de reactividad de oxigenación total – TOx
Oxigenación del tejido cerebral	Índice de reactividad de oxígeno – ORx
Presión intracraneal	índice de reactividad de presión – PRx

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: PPC Y AUTORREGULACIÓN CEREBRAL (AC)

MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA AUTORREGULACIÓN CEREBRAL	
Doppler transcraneal	Índice de flujo medio – Mx
Espectroscopia de infrarrojo cercano	Índice de reactividad de oxigenación total – TOx
Oxigenación del tejido cerebral	Índice de reactividad de oxígeno – ORx
Presión intracraneal	índice de reactividad de presión – PRx

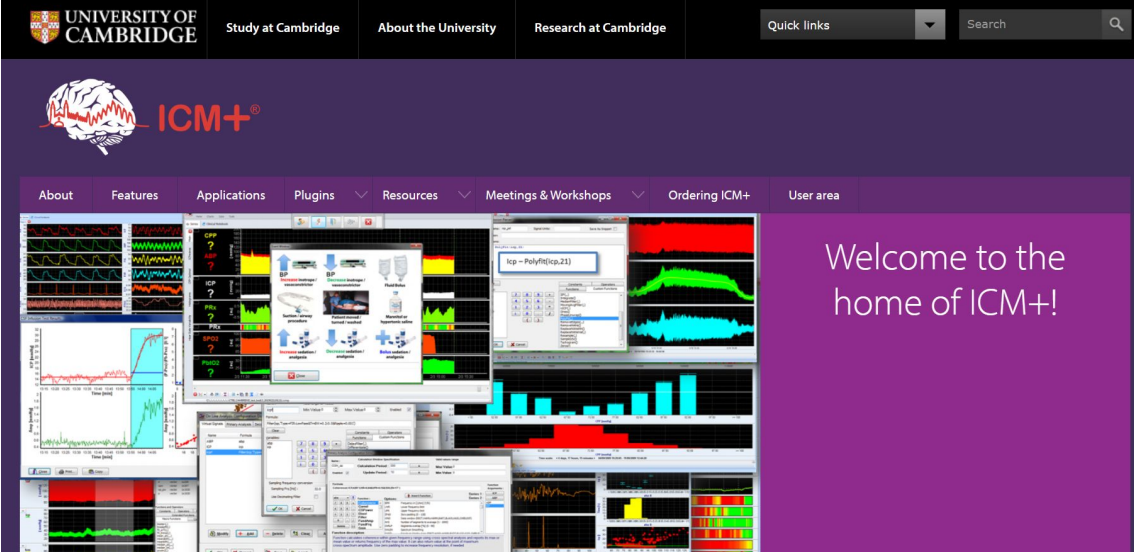
Son fórmulas matemáticas que nos permiten valorar el estado de autorregulación cerebral mediante coeficientes de correlación

La autorregulación alterada medida con Doppler y PRx está relacionada con peores resultados para los pacientes

(Czosnyka et al., 1996, Czosnyka et al., 1997, Liu et al., 2015).

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA AC



The screenshot displays the ICM+ software interface. At the top, there is a navigation bar with the University of Cambridge logo and links for 'Study at Cambridge', 'About the University', 'Research at Cambridge', 'Quick links', and a search box. Below this is the ICM+ logo, which features a brain with a red waveform. The main interface is divided into several sections: 'About', 'Features', 'Applications', 'Plugins', 'Resources', 'Meetings & Workshops', 'Ordering ICM+', and 'User area'. The central area shows a complex dashboard with multiple windows displaying various data plots, including line graphs, bar charts, and histograms. A prominent text overlay on the right side of the dashboard reads: 'Welcome to the home of ICM+!'.

ICM+ es un software de monitorización intracraneal elaborado por la Universidad de Cambridge que permite recopilar datos de forma **continua** y analizarlos **en tiempo real** utilizando **múltiples fuentes de monitorización** junto a la cama, lo que facilita la **medicina personalizada**.

Útil para la investigación clínica en dinámica intracraneal y cuidados intensivos de **lesiones cerebrales traumáticas**.

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA AC

Presión intracraneal

índice de reactividad de presión – PRx

La **reactividad a la presión cerebrovascular:**

→ La capacidad de la musculatura vascular de responder a los cambios de presión transmural.

La respuesta de la PIC a los cambios en la PAM:

- Si la reactividad funciona bien: \uparrow PAM \rightarrow vasoconstricción \rightarrow \downarrow FSC y \downarrow PIC.
- Si la reactividad no funciona: \uparrow PAM \rightarrow no vasoconstricción \rightarrow \uparrow FSC \uparrow PIC.

Una correlación negativa entre la PAM y la PIC se asocia a una correcta vasorreactividad mientras que una correlación positiva indica a una deficiente vasorreactividad.

Tras una lesión cerebral aguda la reserva cerebral compensatoria presión-volumen está reducida, acentuándose esta relación entre la PAM y la PIC \rightarrow MONITORIZACIÓN CONTINUA DE LA REACTIVIDAD A LA PRESIÓN CEREBROVASCULAR.

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

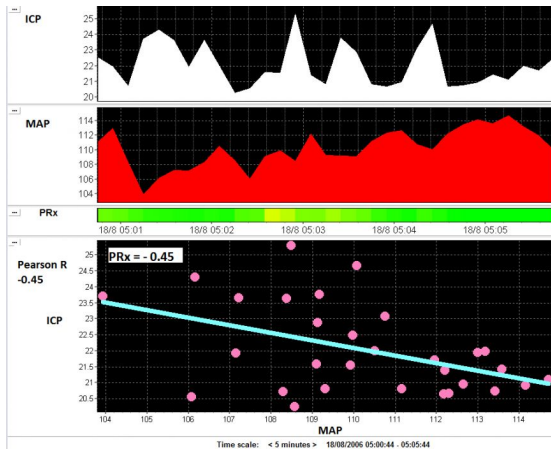
b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA AC

Presión intracraneal

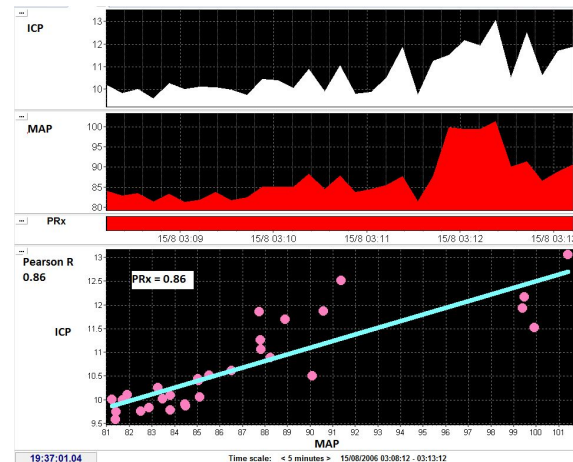
Índice de reactividad de presión – PRx

Índice de reactividad a la presión (*pressure reactivity index* o **PRx**): la correlación de Pearson entre la presión arterial media y la presión intracraneal. Los valores medios de ICP y MAP se calculan cada 10 segundos y luego se toma la correlación de 30 valores consecutivos.

Valores entre -1 y +1.



PRx = -0,45



PRx = 0.36

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA AC

Presión intracraneal

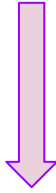
índice de reactividad de presión – PRx

- ✓ Permite valorar la reactividad cualitativamente (se pierde o se mantiene) y cuantitativamente (valor número con un grado de pérdida).
- ✓ El tiempo también es importante: si el PRx persiste por encima de 0.2 durante más de 6 horas, se asocia a fatales resultados.
- ✓ PRx ha demostrado medir de forma dinámica los cambios en la PPC y detectar pérdidas de autorregulación cerebral.

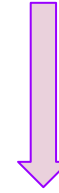
3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: ¿CUÁL ES PPC ÓPTIMA PARA CADA PACIENTE?

¿Qué PPC específica es adecuada para un paciente después de una lesión cerebral traumática?



PPC demasiado baja: isquemia



PPC demasiado alta: daño pulmonar y cardíaco, así como de hiperemia cerebral

Encontrar una PPC individualizada "óptima" (CPPopt)

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

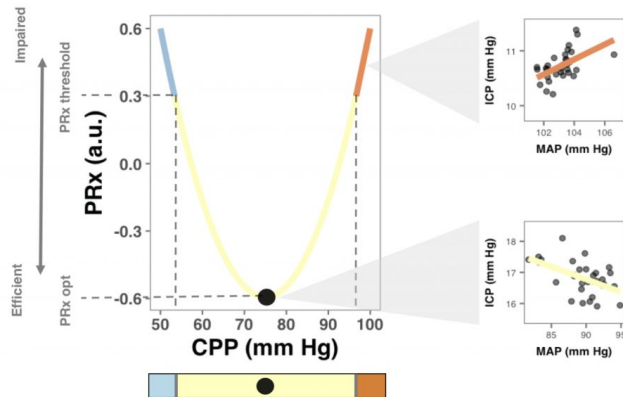
b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: ¿CUÁL ES PPC ÓPTIMA PARA CADA PACIENTE?

Encontrar una CPP individualizada "óptima" (CPPopt)

Un método propuesto por ICM+ es **combinar la monitorización continua de CPP y PRx** (Steiner et al., 2002):

OBJETIVO: Encontrar el CPP donde la autorregulación cerebral está mejor preservada = **CPPopt**

- Este valor puede ser diferente entre pacientes, y puede cambiar en el tiempo dentro de un mismo paciente (Aries et al., 2012)
- Permite calcular los límites estimados inferiores y superiores de CPP de reactividad a la presión



Ajusta una curva en forma de "U" respecto a los datos de CPP y PRx del paciente

Determina la CPP en la que PRx es mejor (más negativa), así como la CPP por debajo de la cual el PRx está deteriorado (límite inferior de reactividad) y la CPP por encima de la cual el PRx está deteriorado (límite superior de reactividad)

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: PPC ÓPTIMA

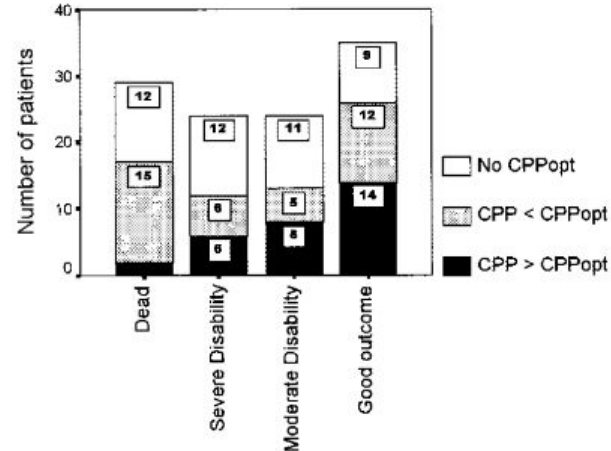
Comparative Study > Neurosurg Focus. 2008 Oct;25(4):E2. doi: 10.3171/FOC.2008.25.10.E2.

Continuous monitoring of cerebrovascular pressure reactivity in patients with head injury

Christian Zweifel ¹, Andrea Lavinio, Luzius A Steiner, Danila Radolovich, Peter Smielewski, Ivan Timofeev, Magdalena Hiler, Marcella Balestreri, Peter J Kirkpatrick, John D Pickard, Peter Hutchinson, Marek Czosnyka

Affiliations + expand

PMID: 18828700 DOI: 10.3171/FOC.2008.25.10.E2



Estudio **retrospectivo**. 2008.

114 TBI con monitorización continua de PAM y PIC.

Se calcula el **PRx para CPP opt**

Se comparó la CPP óptima con la CPP media.

Los resultados fueron evaluados a los 6 meses utilizando la escala Glasgow

→ Se pudo identificar la CPP óptima en un 60% de los casos.

→ Se calculan las diferencias entre los pacientes tratados por debajo de la CPP opt ($r = 0.53$, $p < .001$) y los que su CPP media fue por encima de la CPP opt ($r = -0.40$, $p < .05$).

Conclusiones:

- Los pacientes con una CPP media próxima a la CPP opt tuvieron unos resultados más favorables respecto a los que su CPP media estaba más alejada de la CPP opt.
- Proponen el uso del PRx para guiar el manejo.

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: PPC ÓPTIMA

Journal of Neurotrauma
38:2790–2800 (October 15, 2021)
Mary Ann Liebert, Inc.
DOI: 10.1089/neu.2021.0197

Journal of
Neurotrauma

ORIGINAL ARTICLE

RANDOMIZED CONTROLLED TRIALS

Targeting Autoregulation-Guided Cerebral Perfusion Pressure after Traumatic Brain Injury (COGiTATE): A Feasibility Randomized Controlled Clinical Trial

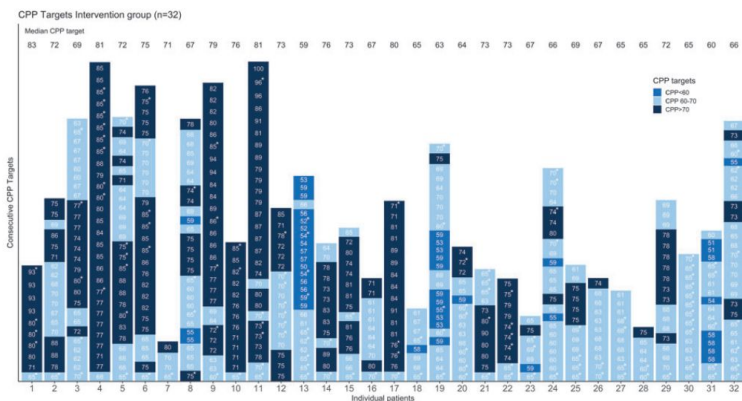
Jeanette Tas,^{1,2,*} Erta Beqiri,³ Ruud C. van Kaam,⁴ Marek Czosnyka,^{3,5} Joseph Donnelly,³ Roel H. Haeren,^{2,6} Iwan C.C. van der Horst,^{1,7} Peter J. Hutchinson,⁸ Sander M.J. van Kuijk,⁹ Analisa L. Liberti,^{1,10} David K. Menon,¹¹ Cornelia W.E. Hoedemaekers,⁴ Bart Depreitere,^{12,**} Peter Smielewski,^{3,**} Geert Meyfroidt,^{13,**} Ari Ercole,^{1,**} and Marcel J.H. Aries^{1,2,**}

Estudio **prospectivo**. 2022.

Dos grupos randomizados:

1. CPP target range (grupo control, 28 pacientes)
2. CPP target guiado por CA (grupo intervencional, 32 pacientes)

Objetivo 1º: porcentaje de tiempo con CPP concordante con los objetivos marcados.
Objetivo 2º: la intensidad de aumento del nivel de tratamiento (TIL) entre el grupo control y el de intervención.



→ En el grupo intervención la PPC estuvo dentro del rango un 46.5% del tiempo (p < 0.001).

→ 17 pacientes (53%) tuvieron una PPC objetivo fuera de la recomendada por la guía BTF (Brain Trauma Foundation), 60-70 mmHg.

→ No se encontraron diferencias significativas respecto al TIL entre ambos grupos. Los resultados clínicos parecen ser similares.

Conclusiones:

Una CPP guiada por AC individual y dinámica es factible y segura en pacientes con TBI.

3. LA PIC MÁS ALLÁ DE UN VALOR NUMÉRICO

b) VIEJOS CONCEPTOS PARA NUEVAS APLICACIONES: MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA AC

Doppler transcraneal

Índice de flujo medio – Mx

> [Stroke](#). 1996 Oct;27(10):1829-34. doi: 10.1161/01.str.27.10.1829.

Monitoring of cerebral autoregulation in head-injured patients

M Czosnyka¹, P Smielewski, P Kirkpatrick, D K Menon, J D Pickard

Affiliations + expand

PMID: 8841340 DOI: 10.1161/01.str.27.10.1829

Objetivo: investigar mediante DTC si la respuesta hemodinámica a las variaciones de PPC proporciona información sobre la autorregulación cerebral.

Se monitoriza la PIC, la PA, y la velocidad de flujo (FV) con DTC y se calcula la media temporal del FV (FVm) y la FV durante la sístole cardíaca (FVs).

Se calculó el coeficiente de correlación entre la FVm y PPC (Mx) y la FVs y PPC (Sx).

→ Mx y Sx se correlacionan con la PPC, la PIC, el Glasgow en su admisión y con los resultados posteriores (todos los resultados estadísticamente significativos).

→ En los pacientes que fallecieron, la autorregulación fue afectada severamente en las primeras 2 horas después de la lesión.

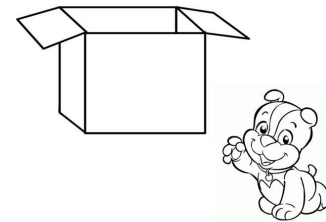
Conclusiones:

FVm y FVs proporcionan información sobre la autorregulación.
Los índices Mx y Sx se correlacionan con los resultados posteriores.
Pueden ser utilizados para guiar la terapia intensiva.

ÍNDICE

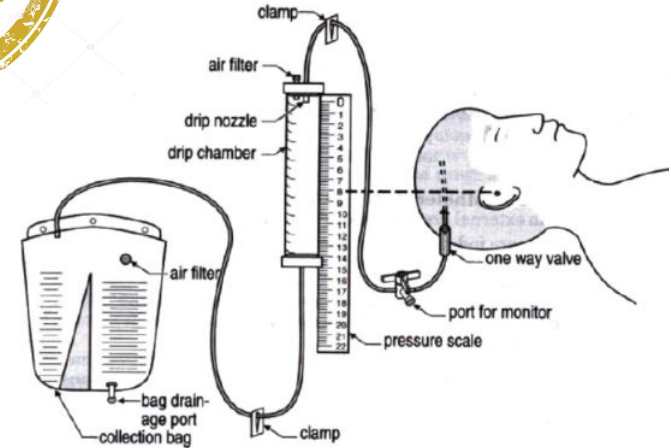
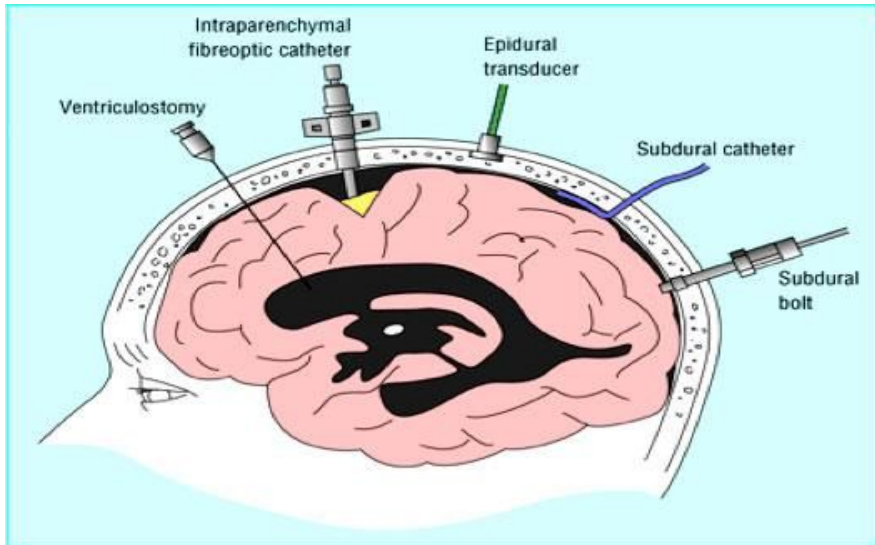
4. MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE LA PIC:

- a) Invasivos
- b) No invasivos



4. MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE LA PIC

a) INVASIVOS



Altura del drenaje o para su calibración:
Idealmente el Foramen de Monroe.
Referencia anatómica: C.A.E.

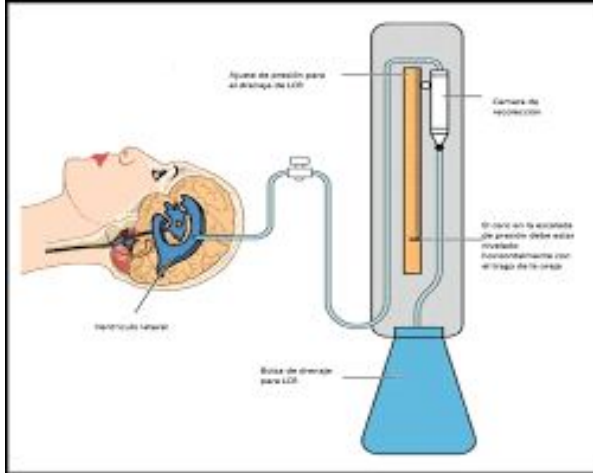
4. MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE LA PIC

a) INVASIVOS



INTRAVENTRICULAR:

El más antiguo, aunque todavía sigue siendo el de referencia.

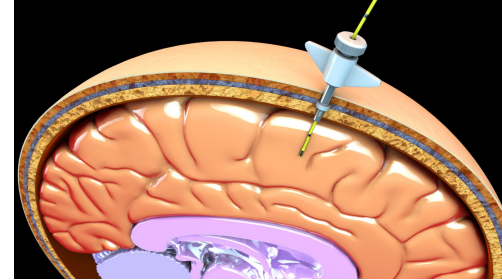


MICROTRANSDUCTORES

PARENQUIMATOSOS:

Principal localización: córtex frontal.

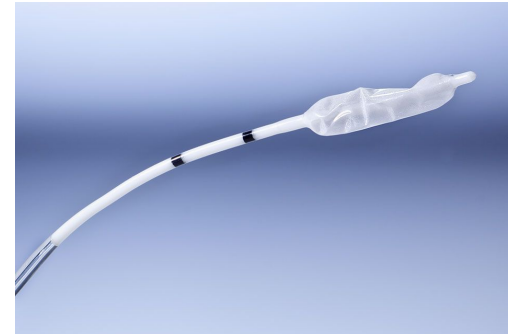
- ✓ Buena correlación con la intraventricular
- ✓ Fácil de manipular y no se influencia por la posición del paciente
- ✓ Menor amortiguación y artefactos en la señal de PIC por no asociar un sistema de fluidos
- ✗ Imposibilidad de recalibrar
- ✗ Sin drenaje de LCR



SPIEGELBERG MONITOR:

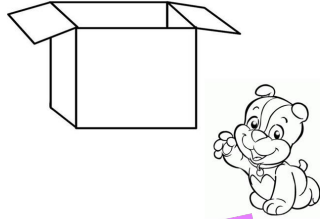
Un catéter con punta de balón para medir la PIC en la ubicación subdural o epidural.

- ✓ Resultados compatibles con el intraventricular e intraparenquimatoso
- ✓ Menores hemorragias e infecciones
- ✓ Recientes versiones permiten drenaje del LCR



4. MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE LA PIC

b) NO - INVASIVOS



✗ Actualmente NO existe suficiente evidencia científica para colocarlos al mismo nivel que los invasivos.

✗ No sustituyen a los métodos invasivos.

✓ Aportan información extra.

✓ Son útiles en aquellos casos en los que no puedan emplearse los invasivos.

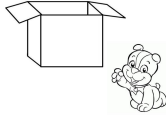
Table 2. Noninvasive indications for intracranial pressure monitoring methods.

Methods studied
<i>Physical examination</i>
<i>Neuroimaging</i>
CT and MRI of the brain
US of the optic nerve sheath
<i>Metabolic changes</i>
Near-infrared spectroscopy
<i>Indirect ICP monitoring</i>
Skull elasticity
Anterior fontanelle pressure
Venous ophthalmodynamometry
Acoustic elasticity
Pupillometry
Tympanic membrane displacement
<i>Metabolic changes</i>
Near-infrared spectroscopy
<i>Neurophysiology</i>
Electroencephalogram
Visual evoked potential
Otoacoustic emissions
<i>Cerebral blood flow</i>
Transcranial Doppler

ICP: indications for intracranial pressure.

4. MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE LA PIC

b) NO - INVASIVOS



Características que deben cumplir los métodos no-invasivos:

1. Simple y cómodo de usar
2. Depender poco de la experiencia del operador
3. Ser fácilmente disponible en el hospital
4. Proporcionar monitorización continua
5. Ser un método cuantitativo
6. Seguimiento de cambios dinámicos de PIC y PPC
7. Poco influenciado por los cambios hemodinámicos del paciente
8. Seguro



Todas las técnicas no invasivas tienen sus ventajas y desventajas, pero **ningún método cumple de forma satisfactoria todos estos criterios para poder reemplazar a las técnicas invasivas.**

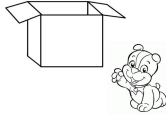
Table 5. Comparison of the main noninvasive indications for intracranial pressure monitoring methods.

	CT/MRI	TCD	ONSD	NIRS	Pupillometry	Skull elasticity	EEG
Portability	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Operator experience	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes
Continuous monitoring	No	No	No	No	No	Yes	Yes
Cost per patient	Moderate	low	low	low	low	low	low
Complications	Yes	No	No	No	No	No	No

CT: computed tomography; MRI: magnetic resonance imaging; TCD: transcranial doppler; ONSD: optic nerve sheath diameter; NIRS: near-infrared spectroscopy; EEG: electroencephalogram.

4. MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE LA PIC

b) NO - INVASIVOS



Métodos físicos:

Escala Glasgow: sólo 3 ítems han sido evaluados de forma relevante:

- Dilatación pupilar (sensibilidad 28.2% y especificidad 85.9%).
- Postura motora $0 = 3$ (sensibilidad 54.3% y especificidad 63.6%)
- Glasgow total $0 = 8$ (sensibilidad 75.8% y especificidad 39.9%).

	1	2	3	4	5	6
OCULAR	No abre los ojos	Responde al dolor	Responde a voz	Abre espontáneamente		
VERBAL	No responde	Sonidos incomprensibles	Palabras inconexas	Oraciones desconexas	Orientado y conversando	
MOTOR	No responde	Flexión voluntaria (Codo extendido)	Flexión voluntaria (Codo flexionado)	Extensión a dolor	Localiza a dolor	Obediente

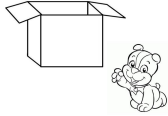
Neuroimagen:

- **TAC:** alta especificidad pero baja sensibilidad → alta tasa de FN
- **RMN:** más sensible pero consume más tiempo.

Las técnicas de neuroimagen continúan siendo útiles cualitativamente, pero no son suficientes para monitorizar elevaciones de PIC.

4. MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE LA PIC

b) NO - INVASIVOS



Transcranial Doppler (TCD):

Permite calcular la **Velocidad del flujo (FV, flow velocity)** sobre la **arteria cerebral media (ACM)**.

El sustento fisiopatológico es que la PIC modifica el FSC y la velocidad de flujo en los vasos.

ÍNDICES

Índice de Pulsatilidad (PI, *pulsatility index*):

Se considera **anormal un $PI > 1.2$**

Algunos estudios han demostrado buena correlación entre el PI y la PIC (S 89% y E 92%).

Otros sin embargo no lo consideran útil dado que usa parámetros que varían continuamente (compliance vascular, autorregulación y PA).

La **PIC estimada (PICe)** se calcula mediante una fórmula que incluye el TDC y la PAM

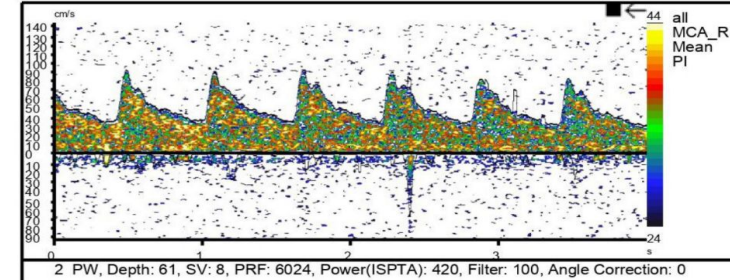


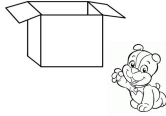
Figure 3. Transcranial Doppler measurement of right middle cerebral artery flows, demonstrating a PI of 1.26.
[6] Moraes FM, Silva GS. Noninvasive intracranial pressure monitoring methods: a critical review. *Arq Neuropsiquiatr.* 2021 May;79(5):437-446. doi: 10.1590/0004-282X-ANP-2020-0300. PMID: 34161530; PMCID: PMC9394557.

✗ LIMITACIONES

- Requiere entrenamiento
- Variabilidad intra e interobservador
- No permite monitorización continua
- No se puede utilizar en un 10-15% de los pacientes por la ventana ósea
- Modificable por factores como fármacos, hipertermia, autorregulación.

4. MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE LA PIC

b) NO - INVASIVOS



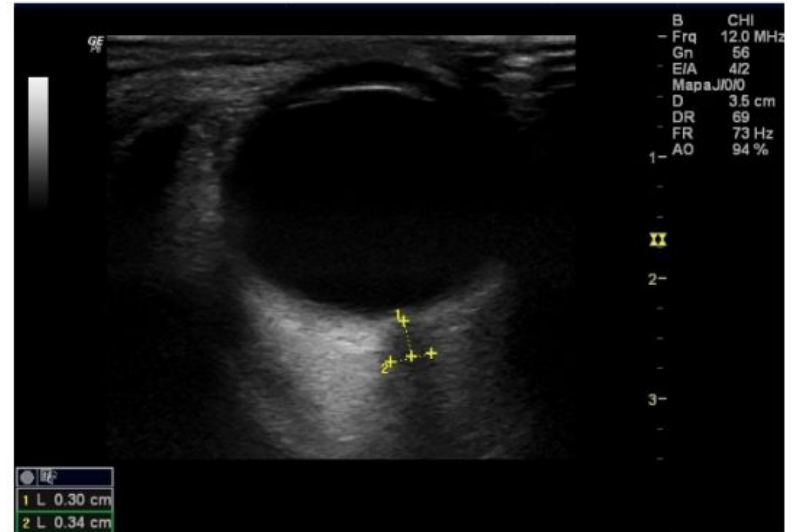
Diámetro de la vaina del nervio óptico (ONSD, *Optic nerve sheath diameter*)

El espacio subaracnoideo que rodea el nervio óptico se continúa con el subaracnoideo intracraneal.

Se considera un resultado **anormal si > 6.0 mm.**

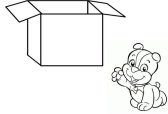
Ha demostrado buena correlación para medir la PIC: S 95% y E 92%.

- ✓ Es una técnica fácilmente accesible y aplicable.
- ✓ Buena correlación para medir la PIC
- ✗ Principal limitación: no se puede aplicar de forma continua.



4. MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE LA PIC

b) NO - INVASIVOS



Pupilometría:

Utiliza una estimulación lumínica calibrada de intensidad (1000 lux) y duración (3,2 s) fija que permite una medición rápida y precisa (límite de 0,05 mm) del tamaño de la pupila, reflejo lumínico pupilar cuantitativo (PLR), velocidad de constricción y latencia.

> [Surg Neurol Int. 2011;2:82. doi: 10.4103/2152-7806.82248. Epub 2011 Jun 21.](#)

Pupillary reactivity as an early indicator of increased intracranial pressure: The introduction of the Neurological Pupil index

Jeff W Chen ¹, Zoe J Gombart, Shana Rogers, Stuart K Gardiner, Sandy Cecil, Ross M Bullock

ÍNDICES

Índice pupilar neurológico (NPI, *neurological pupillary index*)

NPI < 3 indica una función pupilar anormal, mientras NPI ≥ 3 se consideran dentro del rango normal.

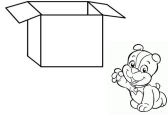
✓ Ha demostrado buena correlación para medir la PIC

✗ Falta de correlación entre el valor real de PIC y NPI

✗ No se puede aplicar de forma continua

4. MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE LA PIC

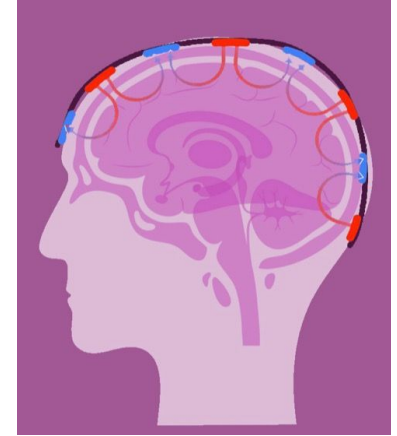
b) NO - INVASIVOS



OTROS:

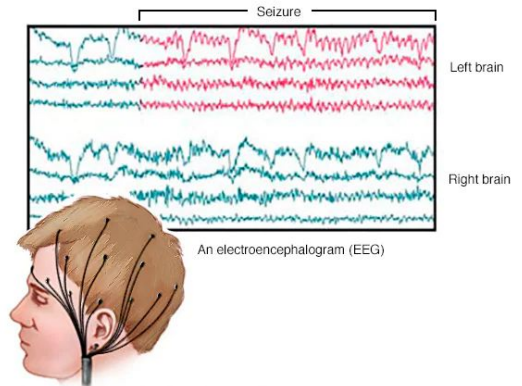
Espectroscopia de infrarrojo (*Near-infrared spectroscopy*):

- Detecta cambios en la oxigenación y en la concentración de hemoglobina.
- Permite obtener información sobre la saturación de oxígeno intracraneal estimada y el estado de perfusión de los tejidos (refleja el metabolismo cerebral).
- No estima la PIC sino que aporta información sobre la PPC y oxigenación cerebral.



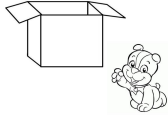
Electroencefalograma:

- Específicos trazados de EEG se correlacionan con cambios en el FSC
- Cambios en la PIC se correlacionan con la duración de la ráfaga del EEG



4. MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE LA PIC

b) NO - INVASIVOS



OTROS:

Métodos acústicos:

- Señales acústicas transcraneales (TCA, *transcranial acoustic signals*): aplicar y recibir una señal desde un oído a otro.
- Tiempo de lucha ultrasónico (TOF, *Ultrasonic time of flight*): las propiedades acústicas de las estructuras intracraneales pueden cambiar cuando aumenta la PIC (se reduce la velocidad de propagación y se atenúa la frecuencia de pulsos de ultrasonido emitidos).

No se ha presentado una validación adicional del enfoque.

Métodos óticos:

- La membrana timpánica responde a la excitación del reflejo estapedial que se modifica con los cambios en la PIC.
- Es dependiente del estado del conducto coclear.

Bajo grado de similitud entre las ondas proporcionadas por dicho método y las formas invasivas.

4. MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE LA PIC

b) NO - INVASIVOS

EVIDENCIA CIENTÍFICA

Critical Care

IMPRESSIT 2017. Estudio multicéntrico piloto prospectivo.

eICP con TCD se comparó con ICPI en tres tiempos: inmediatamente antes de la colocación de ICPI, inmediatamente después de la colocación y 3 horas después del posicionamiento.

La sensibilidad de la ICPTcd fue del 100%; todas las mediciones con ICPI alto (>20 mmHg) también tuvieron valores altos de ICPTcd.

El AUC fue de 96,0 % (IC 95 %: 89,8–100 %) y el mejor umbral estimado fue en ICPI de 24,8 mmHg correspondiente a una sensibilidad de 100 % y una especificidad de 91,2 %.

Este estudio proporciona evidencia preliminar de que la ICPTcd puede excluir con precisión la hipertensión intracraneal en pacientes con lesión cerebral aguda.

Open Access



Rasulo et al. *Critical Care* (2017) 21:44
DOI 10.1186/s13054-017-1632-2

RESEARCH

The accuracy of transcranial Doppler in excluding intracranial hypertension following acute brain injury: a multicenter prospective pilot study

Frank A. Rasulo^{1,2*}, Rita Bertuetti¹, Chiara Robba³, Francesco Lusenti⁴, Alfredo Cantoni⁵, Marta Bernini⁶, Alan Girardini⁷, Stefano Calza⁸, Simone Piva¹, Nazzareno Fagoni¹ and Nicola Latronico^{1,2}

Critical Care

IMPRESSIT 2022. Estudio prospectivo, internacional, multicéntrico 3 tiempos. 3 umbrales de ICPI diferentes (>20, >22 y >25 mmHg).

El VPN fue elevado, indicando alta precisión discriminante de ICPTcd para excluir HTIC. El umbral óptimo de ICPTcd para descartar hipertensión intracraneal fue de 20,5 mmHg (sensibilidad 70 %, especificidad 72 %).

La ICPTcd tiene un alto VPN para descartar la HTIC y puede ser útil en situaciones en las que no se pueden usar métodos invasivos o no están disponibles.

Open Access



Rasulo et al. *Critical Care* (2022) 26:110
<https://doi.org/10.1186/s13054-022-03978-2>

RESEARCH

Transcranial Doppler as a screening test to exclude intracranial hypertension in brain-injured patients: the IMPRESSIT-2 prospective multicenter international study

4. MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE LA PIC

b) NO - INVASIVOS

EVIDENCIA CIENTÍFICA

Observational Study > Crit Care. 2020 Jun 26;24(1):379. doi: 10.1186/s13054-020-03105-z.

Multimodal non-invasive assessment of intracranial hypertension: an observational study

Chiara Robba ^{1 2}, Selene Pozzebon ³, Bedrana Moro ³, Jean-Louis Vincent ³, Jacques Creteur ³, Fabio Silvio Taccone ⁴

Affiliations + expand

PMID: 32591024 PMID: PMC7318399 DOI: 10.1186/s13054-020-03105-z

Review > Arq Neuropsiquiatr. 2021 May;79(5):437-446. doi: 10.1590/0004-282X-ANP

Noninvasive intracranial pressure monitoring methods: a critical review

Fabiano Moulin de Moraes ¹, Gisele Sampaio Silva ¹

Affiliations + expand

PMID: 34161530 PMID: PMC9394557 DOI: 10.1590/0004-282X-ANP-2020-0300

Review > Neurol Sci. 2019 Dec;40(12):2447-2457. doi: 10.1007/s10072-019-04015-x.

Epub 2019 Jul 31.

Optic nerve sheath diameter: present and future perspectives for neurologists and critical care physicians

Piergiorgio Lochner ¹, Marek Czosnyka ², Andrea Naldi ³, Epameinondas Lyros ⁴, Paolo Pelosi ^{5 6}, Shrey Mathur ⁴, Klaus Fassbender ⁴, Chiara Robba ⁵

Affiliations + expand

PMID: 31367861 DOI: 10.1007/s10072-019-04015-x

Estudio observacional prospectivo.

Monitorización invasiva de la PIC y alguno de los siguientes métodos no invasivos: ONSD, PI, eICP, TDC, NPI.

Resultados: existe una correlación significativa entre todas estas técnicas. Cuando se combinan varias, incrementa el AUC, especialmente **la combinación de ONSD + eICP.**

Revisión sistemática.

En términos de precisión, fiabilidad y opciones terapéuticas, los sistemas de catéteres intraventriculares siguen siendo el método Gold standard.

Se necesitan estudios adicionales antes de que los métodos no invasivos para la monitorización o estimación de la PIC se conviertan en una alternativa más generalizada a las técnicas invasivas.

ONSD es una herramienta segura y de bajo costo con potencial para **discriminar aquellos** pacientes que necesitan técnicas de neuroimágenes o **que se pueden beneficiar de una medición invasiva de la PIC.**

4. MÉTODOS DE MONITORIZACIÓN DE LA PIC

b) NO - INVASIVOS

EVIDENCIA CIENTÍFICA

doi: 10.1016/j.bja.2018.04.017

Advance Access Publication Date: 21 June 2018

© 2018 British Journal of Anaesthesia. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

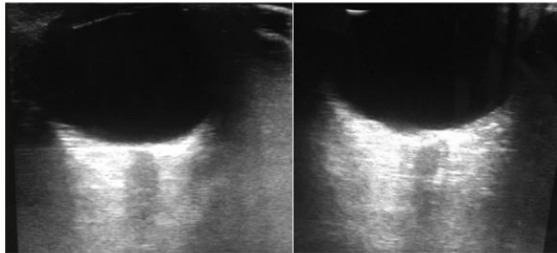
Clinical application of non-invasive intracranial pressure measurements

J. R. Sheehan*, X. Liu, J. Donnelly, D. Cardim, M. Czosnyka and C. Robba

Cambridge, UK

*Corresponding author. E-mail: jrs24@doctors.org.uk

A	B
ONSD US = 4.2 mm (ICP = 9 mm Hg)	ONSD US = 7.8 mm (ICP 25 mm Hg)
ONSD CT = 4.6 mm	ONSD CT = 7.1
nICPFVd = 14 mm Hg	nICPFVd = 24 mm Hg
PI = 0.8	PI = 1.4
Mx <1	Mx >1



Mujer de 30 años con meningitis, edema cerebral y trombosis del seno cavernoso.

Se inicia tratamiento con heparina.

Dada la necesidad de monitorizar la PIC, se maneja el caso con ONSD y FVd.

ÍNDICE

5. CONCLUSIONES



**Sesiones de Formación Continuada
Valencia 21 marzo 2023**

- **Monitorización de la PIC: Utilidad actual**

La monitorización de la presión intracraneal asume **importancia en la población con TBI** como una indicación para comenzar con medidas de control de la PIC, así como para la estratificación del riesgo, el pronóstico y la evaluación de la respuesta a la terapia.

- **La PIC más allá de un valor numérico:**

El concepto de monitorización de la PIC como **indicador de disrupción de los mecanismos de autorregulación cerebral y disfunción de la complianza intracraneal**.

- **La PIC como una señal compuesta:**

Dos razones para valorar el **valor estático y el dinámico**

1. Control cualitativo de la señal de PIC
2. **Información añadida al valor de PIC**, especialmente sobre la ICC.

- **Viejos conceptos para nuevas aplicaciones:** La complianza intracraneal y la PPC óptima.

- **La autorregulación cerebral:**

1. Directamente relacionada con la **morbimortalidad de los pacientes**, empeorando el pronóstico cuando se exceden los límites.
2. Es esencial valorarlo de forma **individual** en cada paciente. Hoy en día contamos con diferentes herramientas y métodos de evaluación basados en algoritmos matemáticos que nos permiten **valorar cualitativa y cuantitativamente el grado de AC, a lo largo del tiempo, y de forma continua**.
3. Los dos más estudiados son el **PRx** y el **Doppler**.

- El **Gold estándar de monitorización de la PIC** siguen siendo los métodos invasivos. Los **no invasivos todavía carecen de suficiente evidencia** para sustituir a los invasivos. Actualmente se utilizan en aquellos casos en los que no se pueden utilizar los invasivos, para discriminar o como complemento.



ÍNDICE

6. BIBLIOGRAFÍA

**Sesiones de Formación Continuada
Valencia 21 marzo 2023**

- [1] Chesnut RM, Temkin N, Carney N, Dikmen S, Rondina C, Videtta W, et al. A trial of intracranial-pressure monitoring in traumatic brain injury. *N Engl J Med.* 2012;367:2471–81.
- [2] Carney N, Totten AM, O'Reilly C, Ullman JS, GWJ H, Bell MJ, et al. Guidelines for the management of severe traumatic brain injury, fourth edition. *Neurosurgery.* 2016;19:1.
- [3] Hoefnagel D, Dammers R, Ter Laak-Poort MP, Avezaat CJJ. Risk factors for infections related to external ventricular drainage. *Acta Neurochir (Wien).* 2008;150:209–14.
- [4] Robba C, Bacigaluppi S, Cardim D, Donnelly J, Bertuccio A, Czosnyka M. Non-invasive assessment of intracranial pressure. *Acta Neurol Scand.* 2016; 134(1):4–21.
- [5] **Robba C, Pozzebon S, Moro B, Vincent JL, Creteur J, Taccone FS. Multimodal non-invasive assessment of intracranial hypertension: an observational study. Crit Care. 2020 Jun 26;24(1):379. doi: 10.1186/s13054-020-03105-z. PMID: 32591024; PMCID: PMC7318399.**
- [6] **Moraes FM, Silva GS. Noninvasive intracranial pressure monitoring methods: a critical review. Arq Neuropsiquiatr. 2021 May;79(5):437-446. doi: 10.1590/0004-282X-ANP-2020-0300. PMID: 34161530; PMCID: PMC9394557.**
- [7] Shafi S, Diaz-Arrastia R, Madden C, Gentilello L. Intracranial pressure monitoring in brain-injured patients is associated with worsening of survival. *J Trauma.* 2008;64(2):335-40. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e31815dd017>
- [8] Bekar A, Doğan S, Abaş F, Caner B, Korfali G, Kocaeli H, et al. Risk factors and complications of intracranial pressure monitoring with a fiberoptic device. *J Clin Neurosci.* 2009 Feb;16(2):236-40. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2008.02.008>
- [9] Pappu S, Lerma J, Khraishi T. Brain CT to assess intracranial pressure in patients with traumatic brain injury. *J Neuroimaging.* 2016 Jan-Feb;26(1):37-40. <https://doi.org/10.1111/ion.12289>
- [10] Rajajee V, Vanaman M, Fletcher JJ, Jacobs TL. Optic nerve ultrasound for the detection of raised intracranial pressure. *Neurocrit Care.* 2011 Dec;15(3):506-15.
- [11] Agrawal A, Cheng R, Tang J, Madhok DY. Comparison of two techniques to measure optic nerve sheath diameter in patients at risk for increased intracranial pressure. *Crit Care Med.* 2019 Jun;47(6):e495-e501. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003742>
- [12] Bellner J, Romner B, Reinstrup P, Kristiansson K-A, Ryding E, Brandt L. Transcranial doppler sonography pulsatility index (PI) reflects intracranial pressure (ICP). *Surg Neurol.* 2004 Jul;62(1):45-51. <https://doi.org/10.1016/j.surneu.2003.12.007>
- [13] Cardim D, Robba C, Donnelly J, Bohdanowicz M, Schmidt B, Damian M, et al. Prospective study on noninvasive assessment of intracranial pressure in traumatic brain-injured patients: Comparison of four methods. *J Neurotrauma.* 2016 Apr;33(8):792-802. <https://doi.org/10.1089/neu.2015.4134>
- [14] Kampf A, Pfausler B, Denchev D, Jaring HP, Schmutzhard E. Near infrared spectroscopy (NIRS) in patients with severe brain injury and elevated intracranial pressure. A pilot study. *Acta Neurochir Suppl.* 1997;70:112-4. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6837-0_35.
- [15] Connolly M, Vespa P, Pouratian N, Gonzalez NR, Hu X. Characterization of the relationship between intracranial pressure and electroencephalographic monitoring in burst-suppressed patients. *Neurocrit Care.* 2015 Apr;22(2):212-20. <https://doi.org/10.1007/s12028-014-0059-8>
- [16] Chen JW, Gombart ZJ, Rogers S, Gardiner SK, Cecil S, Bullock RM. Pupillary reactivity as an early indicator of increased intracranial pressure: The introduction of the Neurological Pupil index. *SurgNeurol Int.* 2011;2:82. <https://doi.org/10.4103/2152-7806.82248>

- [17] Vilela GH, Cabella B, Mascarenhas S, Czosnyka M, Smielewski P, Dias C, et al. Validation of a new minimally invasive intracranial pressure monitoring method by direct comparison with an invasive technique. *Acta Neurochir Suppl.* 2016;122:97-100. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22533-3_19
- [18] Harary M, Dolmans RGF, Gormley WB. Intracranial pressure monitoring-review and avenues for development. *Sensors (Basel).* 2018 Feb;18(2):465. <https://doi.org/10.3390/s18020465>
- [19] **Evensen KB, Eide PK. Measuring intracranial pressure by invasive, less invasive or non-invasive means: limitations and avenues for improvement. *Fluids Barriers CNS.* 2020 May 6;17(1):34. doi: 10.1186/s12987-020-00195-3. PMID: 32375853; PMCID: PMC7201553.**
- [20] Hutchinson PJ, Kolias AG, Czosnyka M, Kirkpatrick PJ, Pickard JD, Menon DK. Intracranial pressure monitoring in severe traumatic brain injury. *BMJ.* 2013;346:f1000.
- [21] Chari A, Dasgupta D, Smedley A, Craven C, Dyson E, Matloob S, Thompson S, Thorne L, Toma AK, Watkins L. Intraparenchymal intracranial pressure monitoring for hydrocephalus and cerebrospinal fluid disorders. *Acta Neurochir (Wien).* 2017;159:1967–78.
- [22] Abdoh MG, Bekaert O, Hodel J, Diarra SM, Le Guerinel C, Nseir R, Bastuji-Garin S, Decq P. Accuracy of external ventricular drainage catheter placement. *Acta Neurochir (Wien).* 2012;154:153–9.
- [23] Brain Trauma F, American Association of Neurological Surgeon, Congress of Neurological Surgeons, et al. Guidelines for the management of severe traumatic brain injury. *J Neurotrauma.* 2007;24(Suppl1):S1–106.
- [24] Andresen M, Juhler M. Intracranial pressure following complete removal of a small demarcated brain tumor: a model for normal intracranial pressure in humans. *J Neurosurg.* 2014;121:797–801.
- [25] Balestreri M, Czosnyka M, Steiner LA, Schmidt E, Smielewski P, Matta B, Pickard JD. Intracranial hypertension: what additional information can be derived from ICP waveform after head injury? *Acta Neurochir (Wien).* 2004;146:131–41.
- [26] Holm S, Eide PK. The frequency domain versus time domain methods for processing of intracranial pressure (ICP) signals. *Med Eng Phys.* 2008;30:164–70.
- [27] van Eijndhoven JH, Avezaat CJ. Cerebrospinal fluid pulse pressure and the pulsatile variation in cerebral blood volume: an experimental study in dogs. *Neurosurgery.* 1986;19:507–22.
- [28] Lundberg N. Continuous recording and control of ventricular fluid pressure in neurosurgical practice. *Acta Psychiatr Scand Suppl.* 1960;36:1–193.
- [29] Wilkinson HA, Schuman N, Ruggiero J. Nonvolumetric methods of detecting impaired intracranial compliance or reactivity: pulse width and wave form analysis. *J Neurosurg.* 1979;50:758–67.
- [30] Czosnyka M, Pickard JD. Monitoring and interpretation of intracranial pressure. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2004;75:813–21.
- [31] Cardoso ER, Rowan JO, Galbraith S. Analysis of the cerebrospinal fluid pulse wave in intracranial pressure. *J Neurosurg.* 1983;59:817–21.
- [32] Howells T, Lewen A, Skold MK, Ronne-Engstrom E, Enblad P. An evaluation of three measures of intracranial compliance in traumatic brain injury patients. *Intensive Care Med.* 2012;38:1061–8.

- [33] Speck V, Staykov D, Huttner HB, Sauer R, Schwab S, Bardutzky J. Lumbar catheter for monitoring of intracranial pressure in patients with post-hemorrhagic communicating hydrocephalus. *Neurocrit Care*. 2011;14:208–15.
- [34] Behrens A, Lenfeldt N, Ambarki K, Malm J, Eklund A, Koskinen LO. Transcranial Doppler pulsatility index: not an accurate method to assess intracranial pressure. *Neurosurgery*. 2010;66:1050–7.
- [35] Ragauskas A, Matijosaitis V, Zakelis R, Petrikonis K, Rastenyte D, Piperl, Daubaris G. Clinical assessment of noninvasive intracranial pressure absolute value measurement method. *Neurology*. 2012;78:1684–91.
- [36] Marchbanks R, Reid A, Martin A, Brightwell A, Bateman D. The effect of raised intracranial pressure on intracochlear fluid pressure: three case studies. *Br J Audiol*. 1987;21:127–30.
- [37] Tain R-W, Alperin N. Noninvasive intracranial compliance from MRI-based measurements of transcranial blood and CSF flows: indirect versus direct approach. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2008;56:544–51.
- [38] Jaeger M, Khoo AK, Conforti DA, Cuganesan R. Relationship between intracranial pressure and phase contrast cine MRI derived measures of intracranial pulsations in idiopathic normal pressure hydrocephalus. *J Clin Neurosci*. 2016;33:169–72.
- [39] Levinsky A, Pappan S, Weinberg G, Stadheim T, Eide PK. Non-invasive estimation of static and pulsatile intracranial pressure from transcranial acoustic signals. *Med Eng Phys*. 2016;38:477–84.
- [40] Ragauskas A, Daubaris G, Ragaisis V, Petkus V. Implementation of non-invasive brain Physiological monitoring concepts. *Med Eng Phys*. 2003;25:667–78.
- [41] Koziarz A, Sne N, Kegel F, Nath S, Badhiwala JH, Nassiri F, Mansouri A, Yang K, Zhou Q, Rice T, Faidi S. Bedside optic nerve ultrasonography for diagnosing increased intracranial pressure. *Ann Intern Med*. 2019;171(12):896–905.
- [42] Rasulo FA, Bertuetti R, Robba C, Lusenti F, Cantoni A, Bernini M et al. The accuracy of transcranial Doppler in excluding intracranial hypertension following acute brain injury: a multicenter prospective pilot study. *Critical Care (2017) 21:44*. DOI 10.1186/s13054-017-1632-2**
- [43] Rasulo FA, Calza S, Robba C, Taccone FS, Biasucci DG et al. Transcranial Doppler as a screening test to exclude intracranial hypertension in brain-injured patients: the IMPRESSIT-2 prospective multicenter international study. *Critical Care (2022) 26:110*. <https://doi.org/10.1186/s13054-022-03978-2>.**
- [44] Nag DS, Sahu S, Swain A, Kant S. Intracranial pressure monitoring: Gold standard and recent innovations. *World J Clin Cases*. 2019 Jul 6;7(13):1535-1553. doi: 10.12998/wjcc.v7.i13.1535. PMID: 31367614; PMCID: PMC6658373.**
- [45] Guillaume J, Janny P. Continuous intracranial manometry; importance of the method and first results. *Rev Neurol (Paris)* 1951; 84: 131-142 [PMID: 14845379].
- [46] The Brain Trauma Foundation. The American Association of Neurological Surgeons. The Joint Section on Neurotrauma and Critical Care. Indications for intracranial pressure monitoring. *J Neurotrauma* 2000;17: 479-491 PMID: 10937890 DOI: 10.1089/neu.2000.17.479

- [47] Lang JM, Beck J, Zimmermann M, Seifert V, Raabe A. Clinical evaluation of intraparenchymal Spiegelberg pressure sensor. *Neurosurgery* 2003; 52: 1455-9; discussion 1459 [PMID: 12762891]
- [48] Le Roux P. Intracranial pressure after the BEST TRIP trial: a call for more monitoring. *Curr Opin Crit Care* 2014; 20: 141-147 [PMID: 24584171 DOI: 10.1097/MCC.0000000000000078]
- [49] Lochner P, Czosnyka M, Naldi A, Lyros E, Pelosi P, Mathur S, et al. Optic nerve sheath diameter: present and future perspectives for neurologists and critical care physicians. *Neurol Sci.* 2019 Dec;40(12):2447-2457. doi: 10.1007/s10072-019-04015-x. Epub 2019 Jul 31. PMID: 31367861.
- [50] Cardim D, Griesdale DE, Ainslie PN, Robba C, Calviello L, Czosnyka M, et al. A comparison of non-invasive versus invasive measures of intracranial pressure in hypoxic ischaemic brain injury after cardiac arrest. *Resuscitation.* 2019 Apr;137:221-228. doi: 10.1016/j.resuscitation.2019.01.002. Epub 2019 Jan 7. PMID: 30629992.
- [51] Sheehan JR, Liu X, Donnelly J, Cardim D, Czosnyka M, Robba C. Clinical application of non-invasive intracranial pressure measurements. *Br J Anaesth.* 2018 Aug;121(2):500-501. doi: 10.1016/j.bja.2018.04.017. Epub 2018 May 21. PMID: 30032894.
- [52] Raffiz M, Abdullah JM. Optic nerve sheath diameter measurement: a means of detecting raised ICP in adult traumatic and non-traumatic neurosurgical patients. *Am J Emerg Med.* 2017 Jan;35(1):150-153. doi: 10.1016/j.ajem.2016.09.044. Epub 2016 Sep 23. PMID: 27852525.
- [53] Cardim D, Robba C, Bohdanowicz M, Donnelly J, Cabella B, Liu X, et al. Non-invasive Monitoring of Intracranial Pressure Using Transcranial Doppler Ultrasonography: Is It Possible? *Neurocrit Care.* 2016 Dec;25(3):473-491. doi: 10.1007/s12028-016-0258-6. PMID: 26940914; PMCID: PMC5138275.
- [54] Luzius A, Steiner et al. Continuous monitoring of cerebrovascular pressure reactivity allows determination of optimal cerebral perfusion pressure in patients with traumatic brain injury. *Crit Care Med* 2002 Vol. 30, No. 4.
- [55] Tas J, Beqiri E, van Kaam RC, et al. Targeting Autoregulation-Guided Cerebral Perfusion Pressure after Traumatic Brain Injury (COGiTATE): A Feasibility Randomized Controlled Clinical Trial. *J Neurotrauma.* 2021 Oct 15;38(20):2790-2800. doi: 10.1089/neu.2021.0197. Epub 2021 Aug 16. PMID: 34407385.
- [56] Cambridge Enterprise ICM+. <https://icmplus.neurosurg.cam.ac.uk/>
- [57] Czosnyka M, Smielewski P, Kirkpatrick P, Menon DK, Pickard JD. Monitorización de la autorregulación cerebral en pacientes con traumatismo craneoencefálico. *Golpe.* 1996 Octubre;27(10):1829-34. doi: 10.1161/01.str.27.10.1829. PMID: 8841340.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN



**Sesiones de Formación Continuada
Valencia 21 marzo 2023**

Lesión traumática cerebral aguda. Nuevas tendencias en monitorización de presión intracraneal, ¿Manejo sin monitorización invasiva?. Presión de perfusión cerebral individualizada y nuevas propuestas para el tratamiento.

Dra. Lydia Salvador (FEA)
Dra. María Gallego (MIR-3)

**Sesiones de Formación Continuada
Valencia 21 marzo 2023**