



Monitorización cerebral más allá de la presión intracraneal: monitorización de la perfusión cerebral y la autorregulación en el TCE grave.



Dra. Lydia Salvador Gozalbo

MIR Violeta Pérez Marí (R3)

**Servicio Anestesia Reanimación y Tratamiento del Dolor
Consorcio Hospital General de Valencia**

**SARTD – CHGUV Sesión de formación continuada
Valencia, 13 Febrero 2024**



Índice

1. Fisiopatología

1. PIC
2. Sd. Compartimental
3. Autorregulación Cerebral
4. TCE

2. Métodos de monitorización cerebral

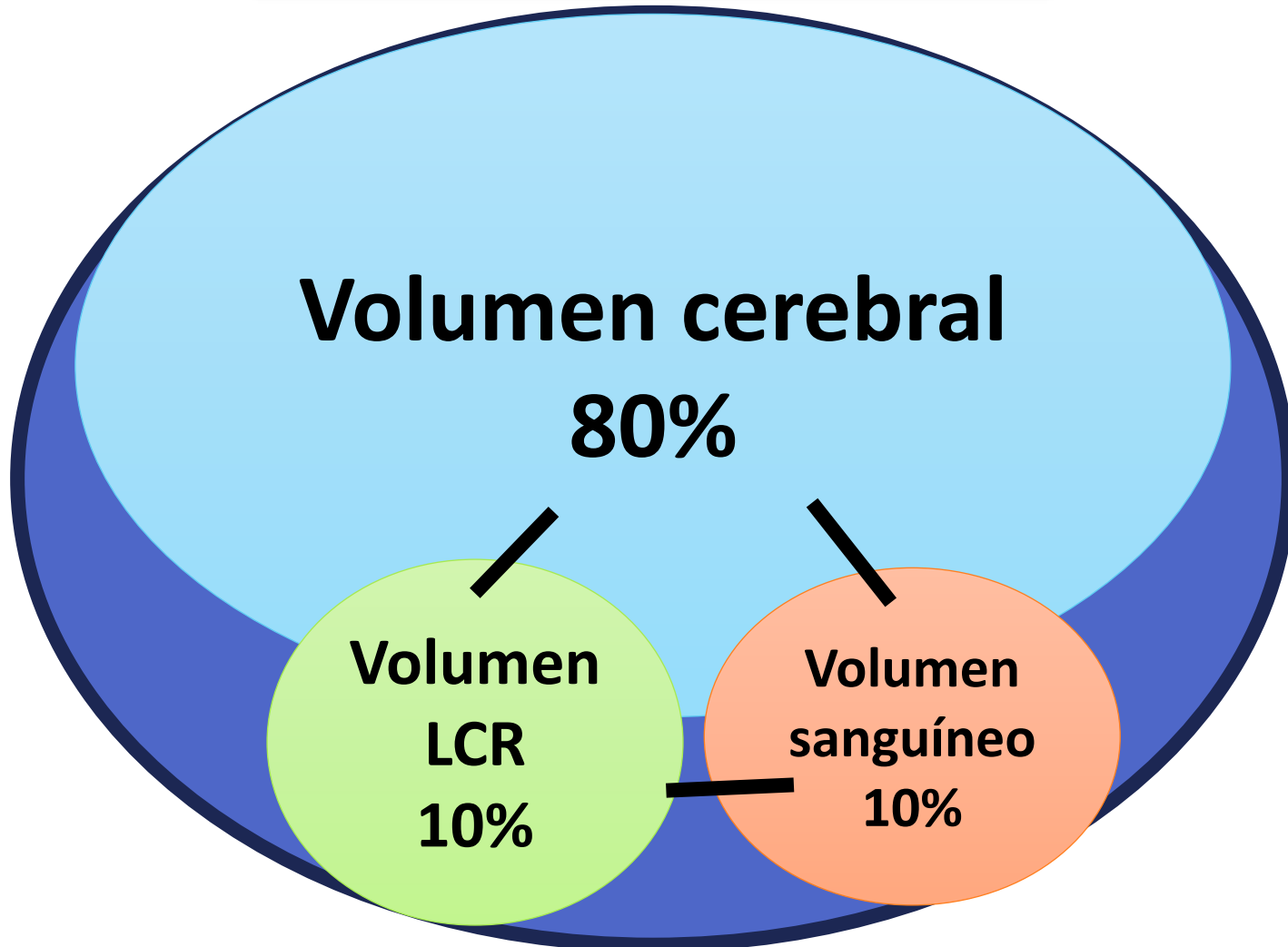
1. PIC
2. Sensor de oxigenación tisular
3. Doppler transcraneal
4. Espectroscopia de infrarrojo cercano

Contextualización y Conclusiones





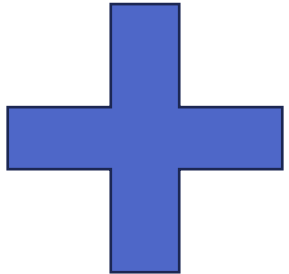
Fisiopatología





Fisiopatología

**Volumen cerebral
80%**



**Volumen sanguíneo
10%**

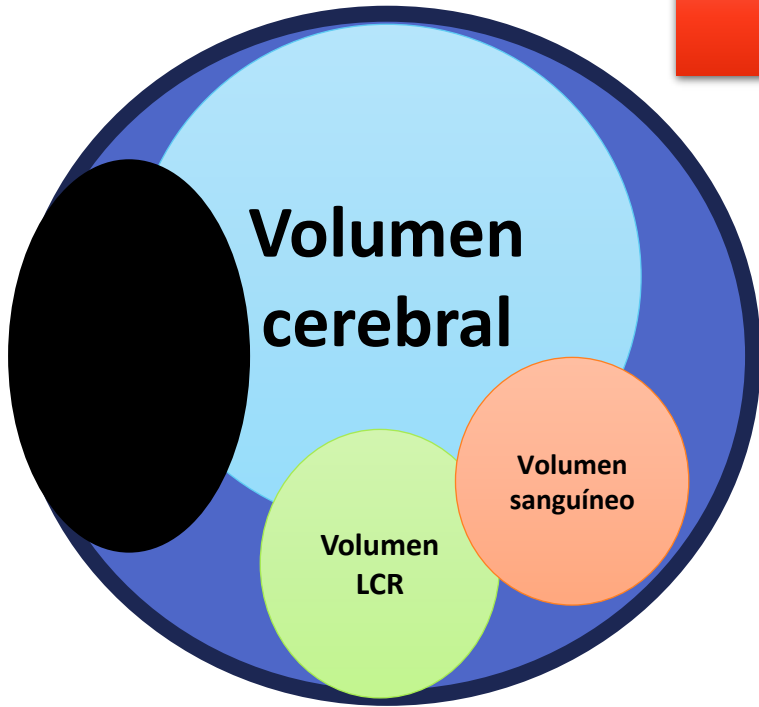
**Volumen LCR
10%**



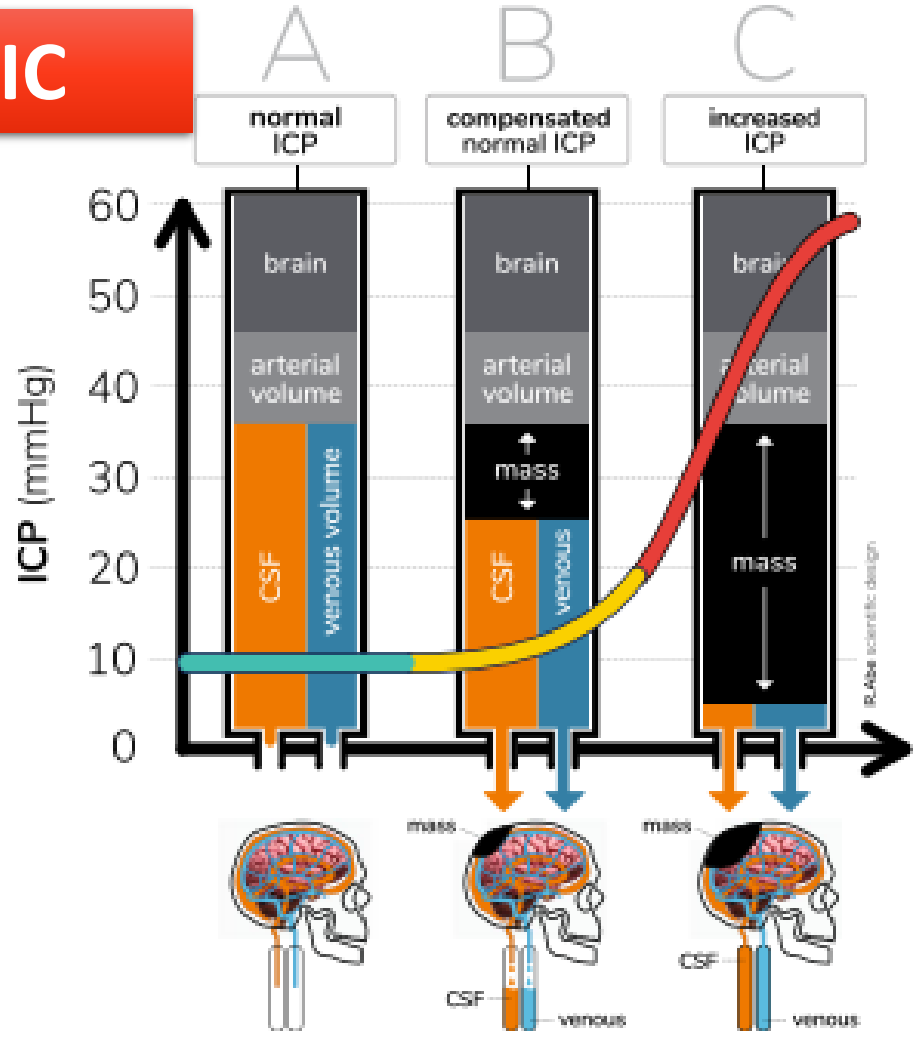
**P
I
C**

Fisiopatología

PIC



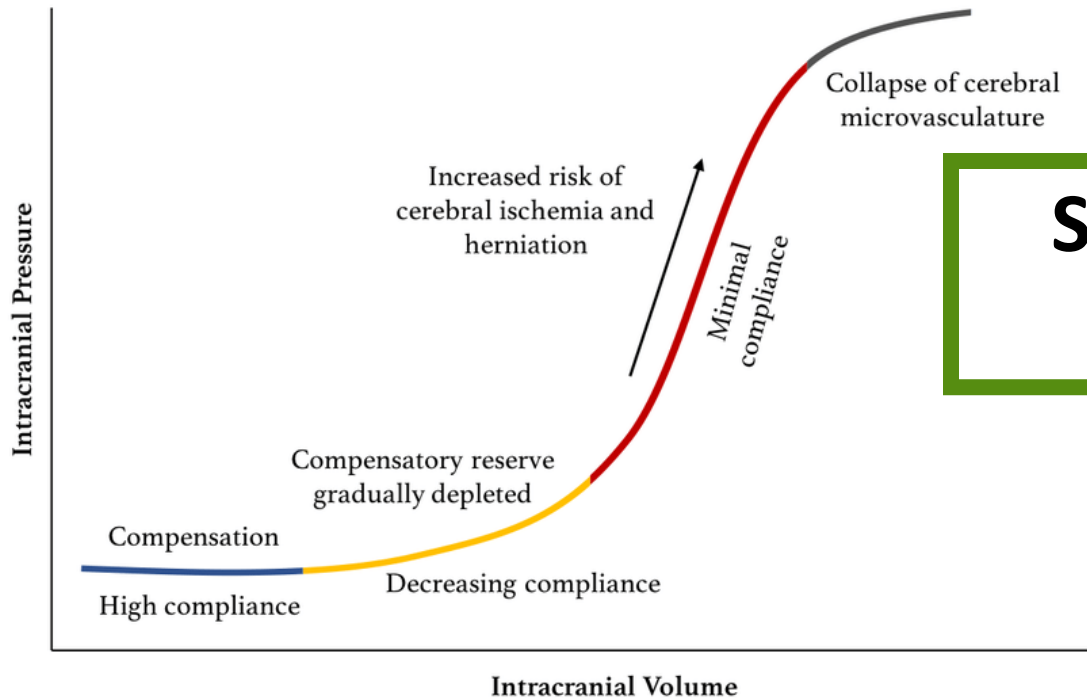
CIERTA CAPACIDAD COMPENSATORIA



Fisiopatología

Complianza cerebral

La **"compliance" cerebral** es la capacidad de **"tolerancia"** que tiene el sistema craneoespinal que le permite **no sufrir grandes aumentos en la presión**, aunque se produzcan **paulatinos aumentos en el volumen intracraneal**.

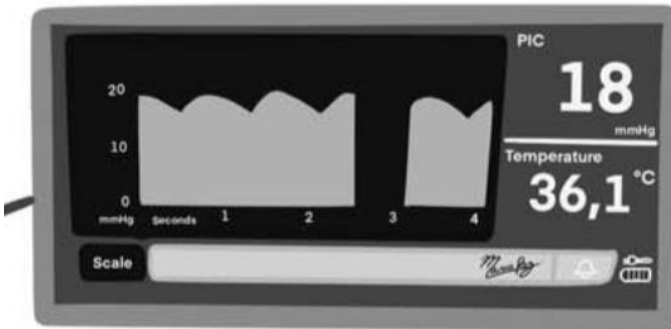


Sd. Compartimental Cerebral

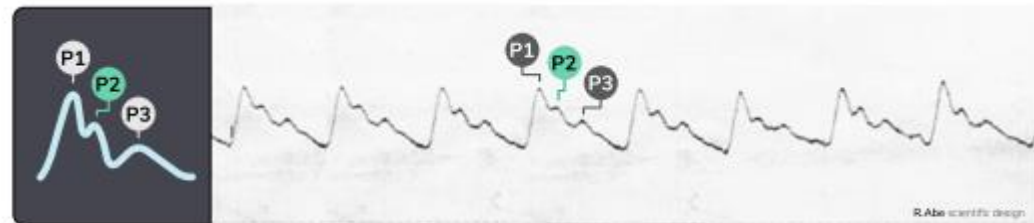
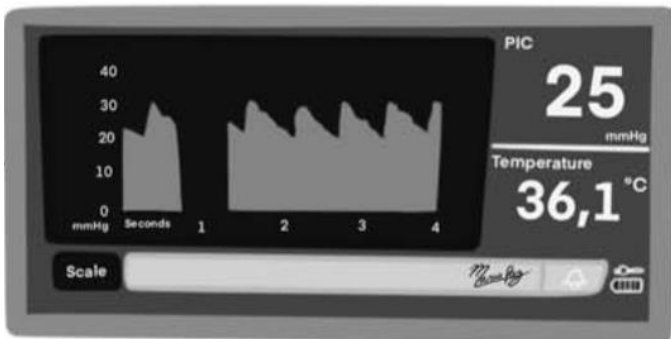
Flujo Sanguíneo

Fisiopatología

Complianza cerebral – Análisis de onda de PIC



P2 pattern = $P2 > P3 > P1$ abnormal = Reduced compliance



P1 pattern = $P1 > P2 > P3$ normal = Normal compliance

Fisiopatología

PRESIÓN DE PERFUSIÓN CEREBRAL (PPC)

PPC

=

PAM

-

PIC

< 50mmHg implica una **disminución** severa del
Flujo sanguíneo cerebral.

Aumenta la probabilidad de lesiones
isquémicas.

60-70 mmHg

Mortalidad y movilidad

Fisiopatología

2%
Total
corporal

15%
Gasto
Cardíaco

20%
del
oxígeno



$$FSC = \frac{TAM - PIC}{RVC}$$

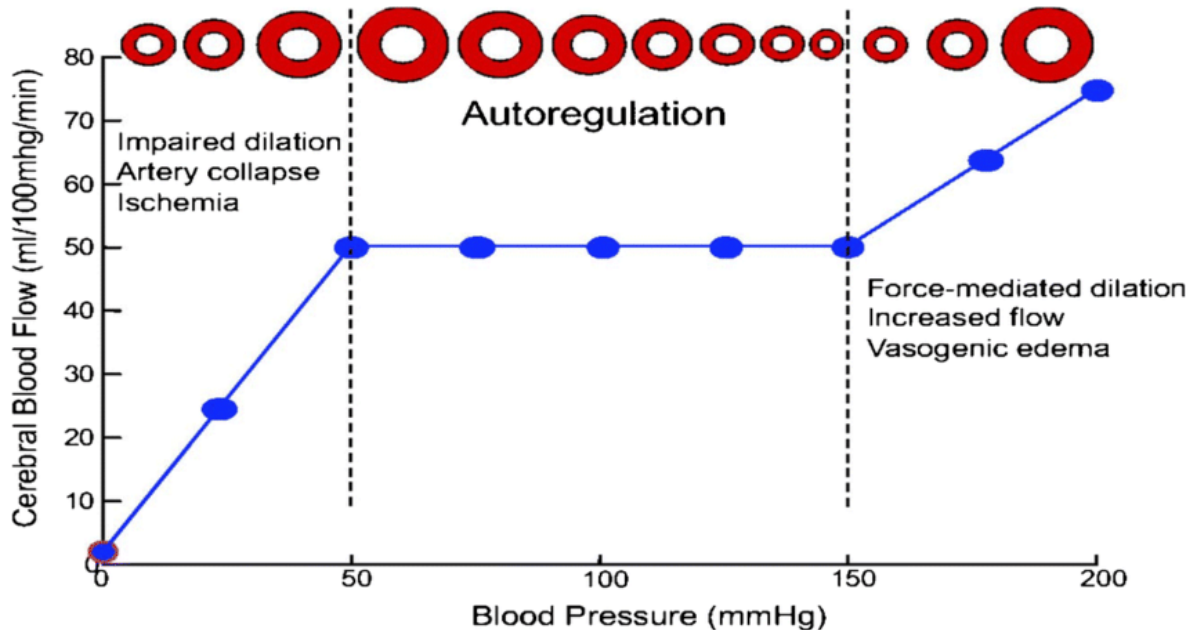
Flujo sanguíneo cerebral

- Depende 80% de carótidas y un 20% de arterias vertebrales.
- **Alto consumo** de oxígeno.
- **Escasa reserva.**

Fisiopatología

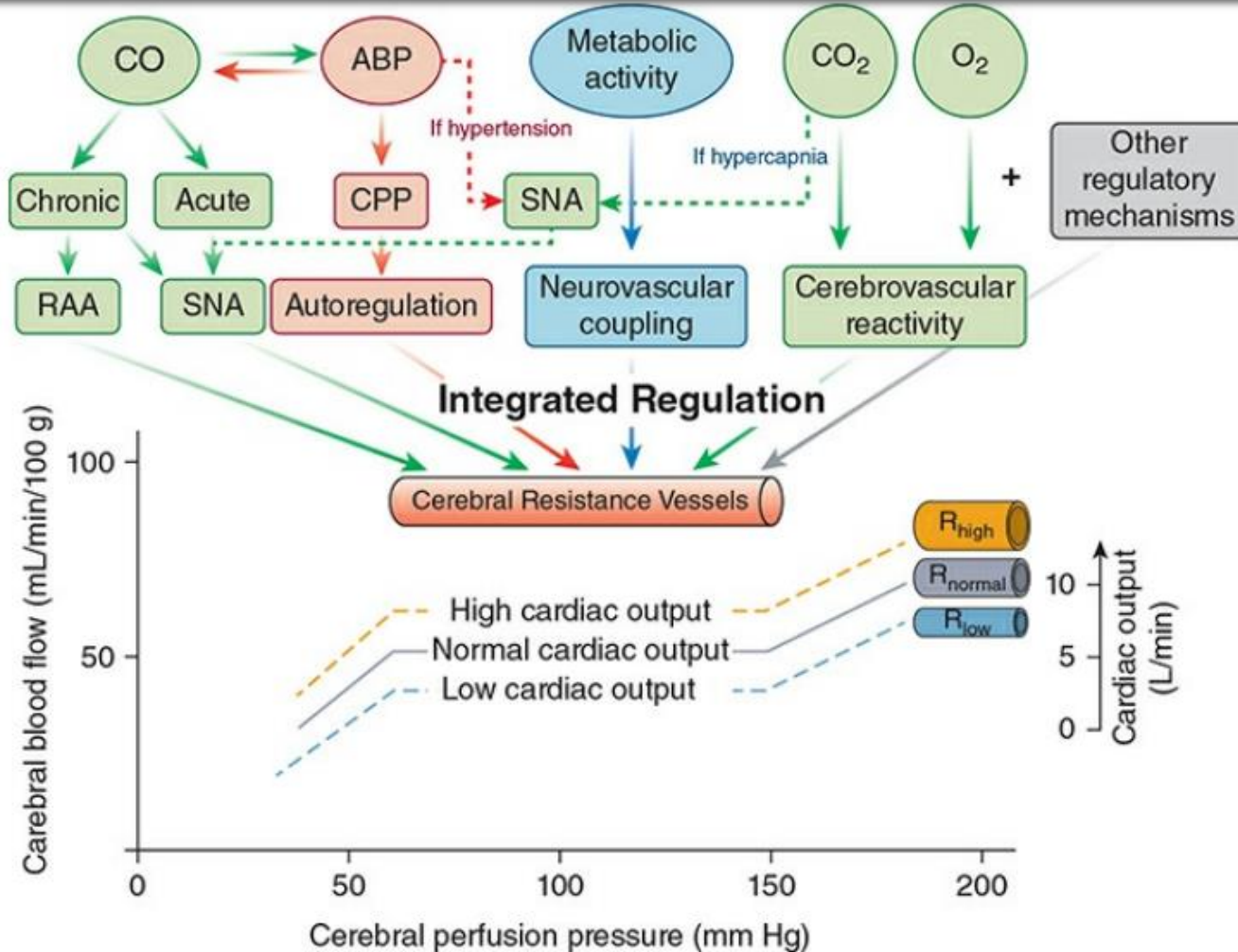
Autorregulación cerebral

“La capacidad de los vasos sanguíneos cerebrales de mantener **constante** el **Flujo Sanguíneo Cerebral** a pesar de cambios en la **PPC o TAM**”



Fisiopatología

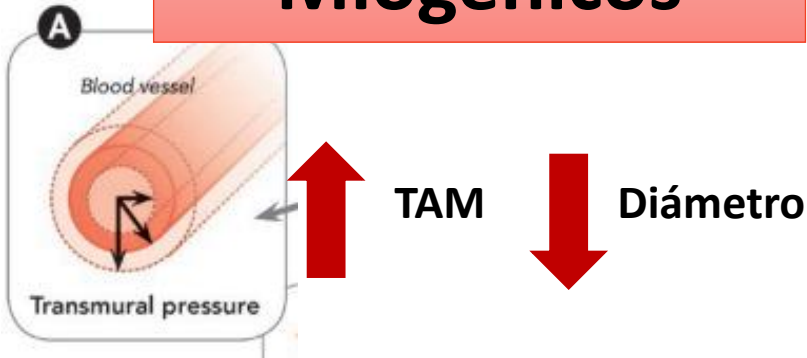
Autoregulación cerebral



Fisiopatología

Autorregulación cerebral

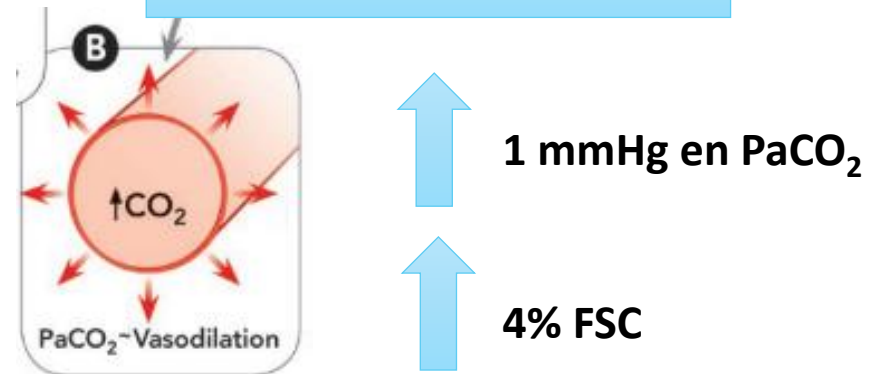
Miogénicos



Capacidad del músculo liso de responder frente a cambios en la presión transmural



Metabólicos



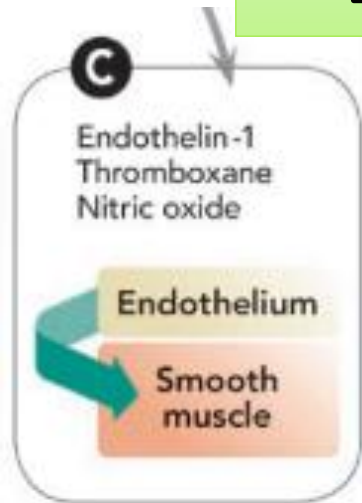
FSC directamente proporcional a la PaCO₂ en presiones entre 20 y 80 mm Hg.

PaO₂ <50 mmHg efecto vasodilatador intenso.

Fisiopatología

Autorregulación cerebral

Endoteliales

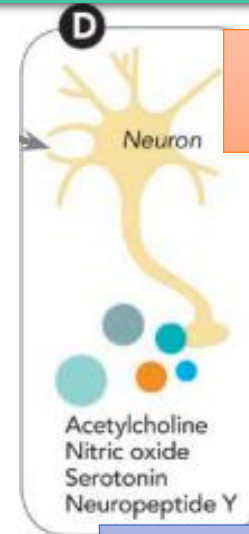


VD: Acetilcolina, NO

VC: Serotonina,
neuropéptido Y

Secreción paracrina de sustancias tanto vasoconstrictoras como vasodilatadoras

Neurogénicos



Secreción de diferentes hormonas por las células gliales.

Temperatura



T^o



FSC

Consumo O₂

FSC varía 5% al 7% por cada cambio de 1°C en la temperatura.

Autorregulación cerebral

1948



2024

Primeras
publicaciones
describiendo la
autorregulación

Interpretaciones
iniciales
"todo o nada."

Proceso complejo,
multifactorial.

Manejo **dirigido** a
la autorregulación
cerebral de cada
paciente.

Autorregulación cerebral

1948

Primeras
publicaciones
describiendo la
autorregulación

Interpretación
ini... complejo,
"...ctorial.

2024

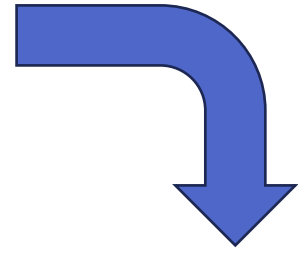
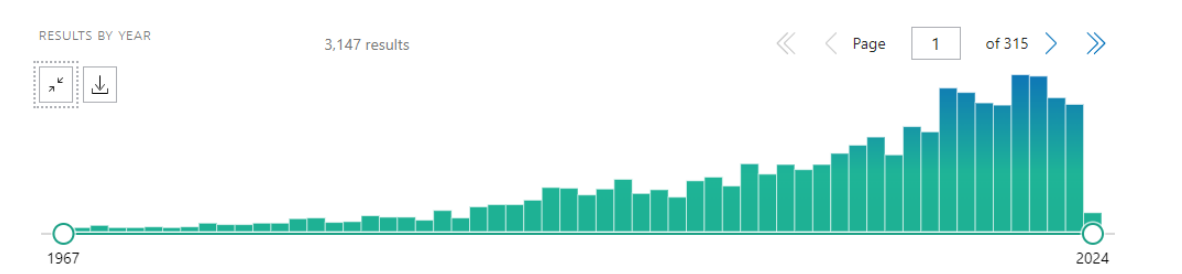
Manejo **dirigido** a
la autorregulación
cerebral de cada
paciente.

Autoregulación cerebral

PubMed® cerebral autoregulation monitoring Search

Advanced Create alert Create RSS User Guide

Save Email Send to Sort by: Best match Display options





TCE



“Cualquier alteración en la función encefálica u otra evidencia de patología en el encéfalo causada por una fuerza externa”

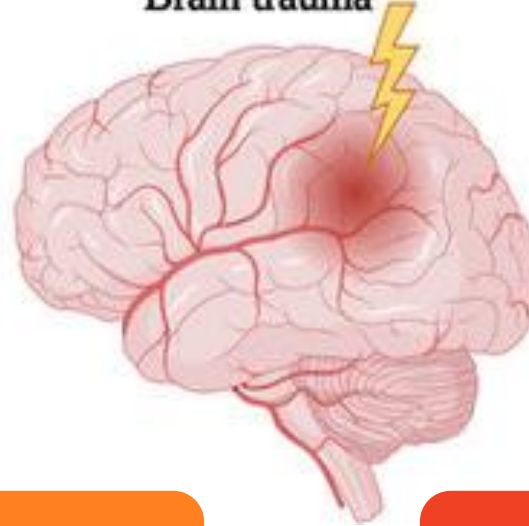


Importante causa de
muerte y discapacidad

En EEUU se estima un gasto
de más de 70 billones/año

> 20.000 casos/año España

Brain trauma



Primera
fase



Segunda
fase

Lesión directa de tejidos
y efecto masa.

Lesiones derivadas de la
pérdida de la capacidad
de autorregulación.



TCE

Leve

Moderado

Severo

Glasgow 13-15

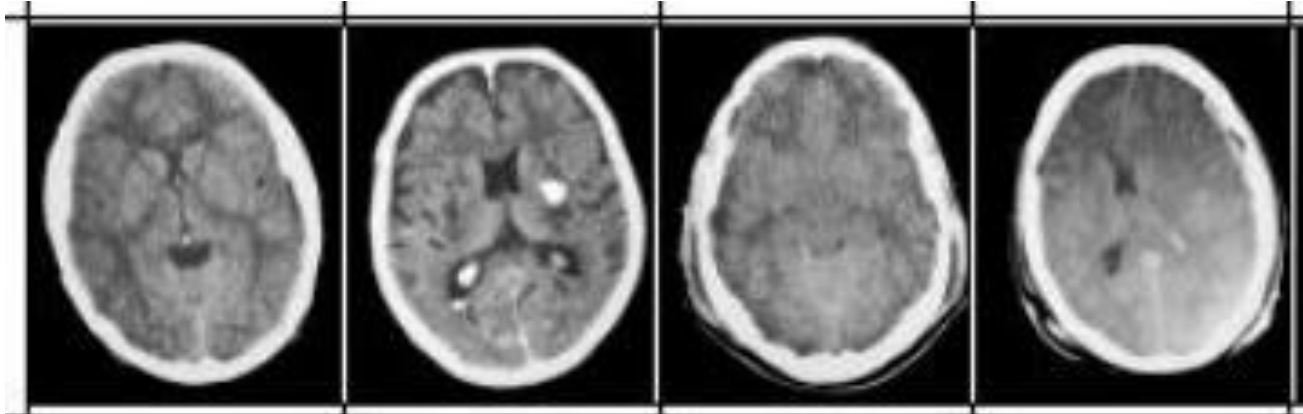
Glasgow 12-9

Glasgow < 9

70%

10%

20%

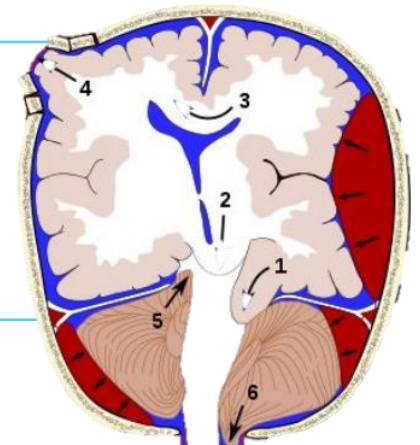


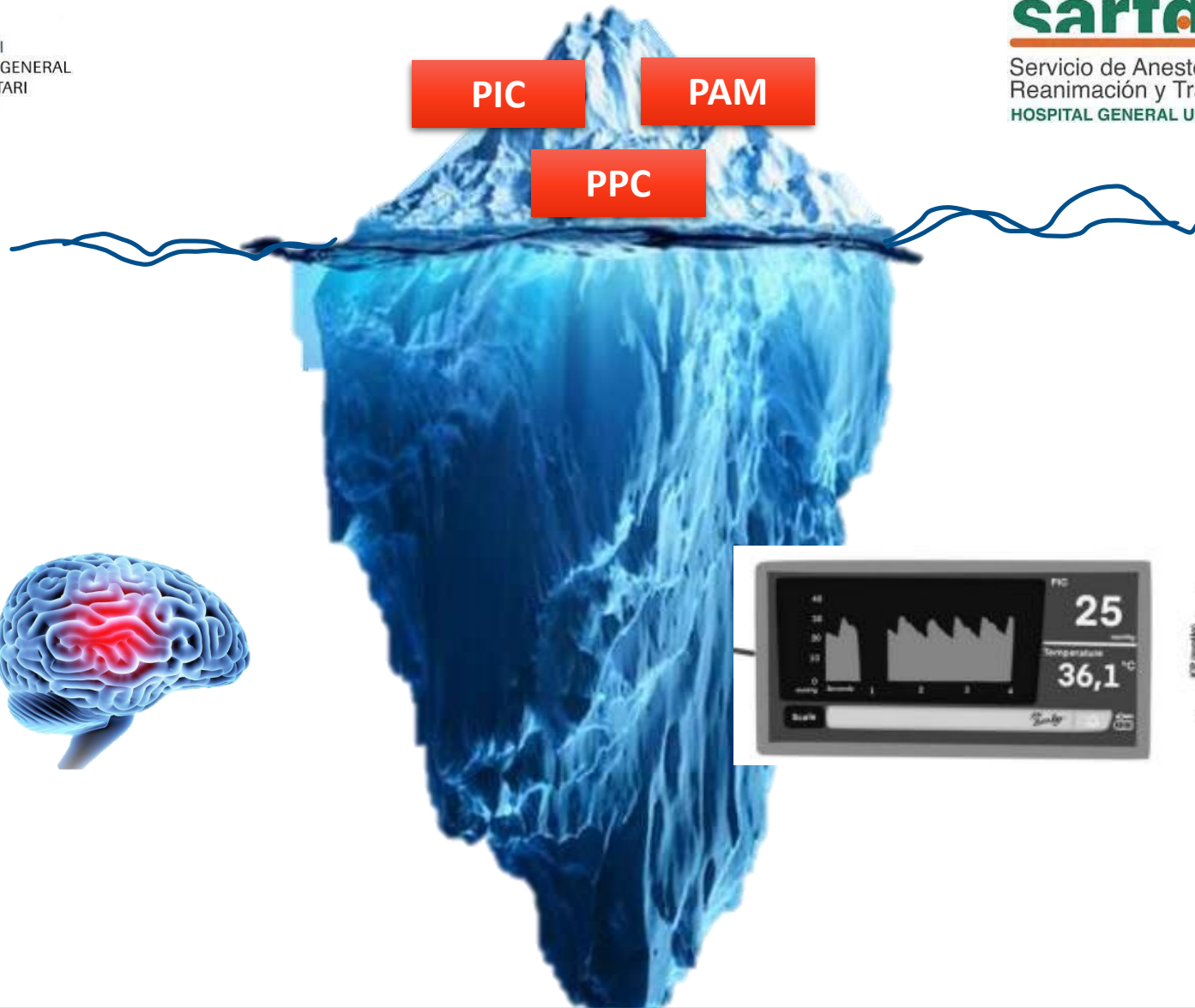
TCE SEVERO

**Monitorización de la Presión
Intracraneal**

PIC > 22 mmHG

**Desplazamiento de estructuras anatómicas:
Edema
Isquemia
Herniación**





Los valores absolutos son una simplificación de mecanismos mucho más complejos.

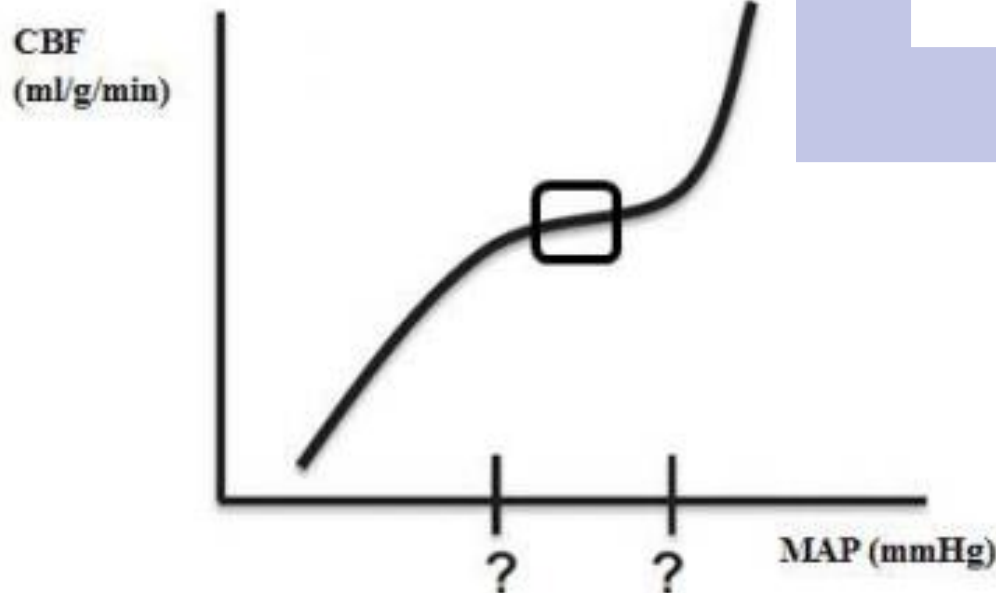


Monitorización autorregulación cerebral





Monitorizar la
autorregulación



Individualizar
puntos de corte



Monitorización de la autorregulación cerebral

“La capacidad de los vasos sanguíneos cerebrales de mantener **constante** el **Flujo Sanguíneo Cerebral** a pesar de cambios en la **PPC o TAM**”

PPC o TAM

**FLUJO SANGUÍNEO
CEREBRAL**

Estática

Dinámica

Monitorización de la autorregulación cerebral

Invasivos

PIC

Sensores
oxigenación
cerebral

No Invasivos

Espectroscopia de
infrarrojo cercano
(NIRS)

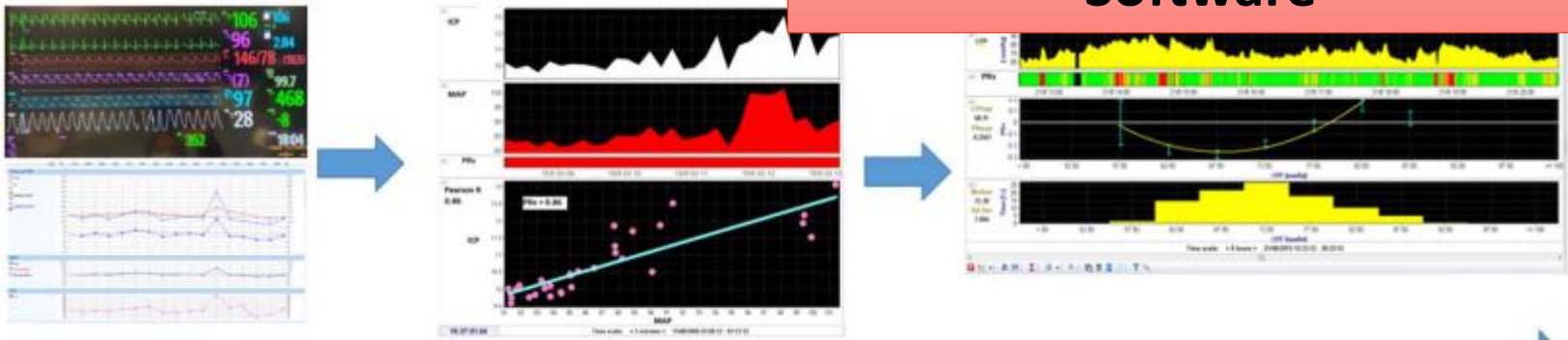
Doppler
Transcraneal

Estimar el FSC

Monitorización de la autorregulación cerebral



**Intensive Care Monitoring
Software**



**Índices de correlación de
Pearson**

-1 a +1



Monitorización de la autorregulación cerebral

PAM o PPC



Derivado del FSC



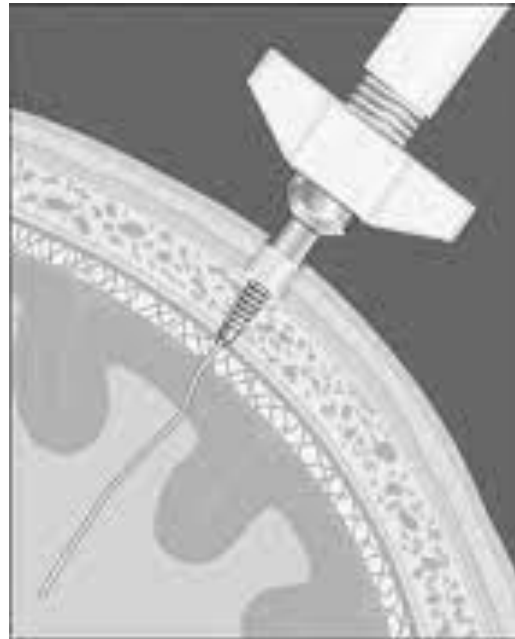
Software

Índices de correlación de
Pearson

-1 a +1



Monitorización de la autorregulación cerebral mediante sensor de PIC



Sensor de PIC

~~Valor
absoluto~~

Cómo responde el cerebro a los cambios en la **presión arterial.**

- ✓ Tiene valor pronóstico.
- ✓ En condiciones normales ante **↑ PAM ↓ PIC**

**Índice de la reactividad a la
Presión (PRx)**



Registra valores medios de PIC y PAM calculados cada 10s y luego se correlacionan 30 valores consecutivos.

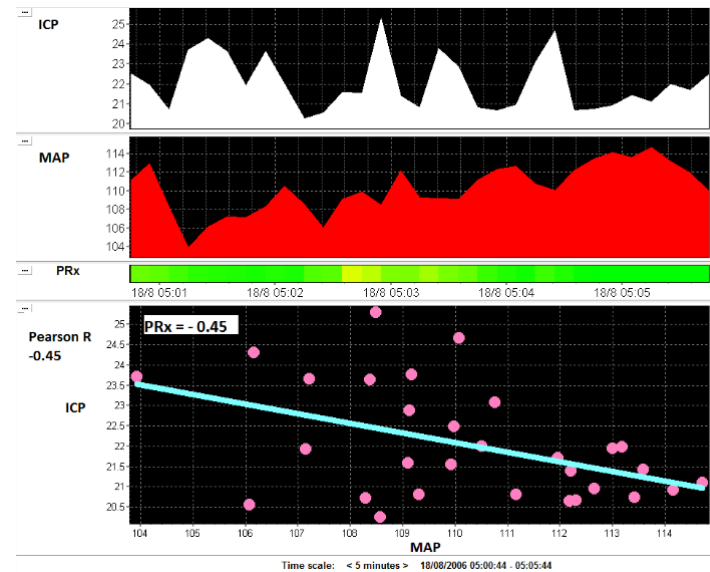
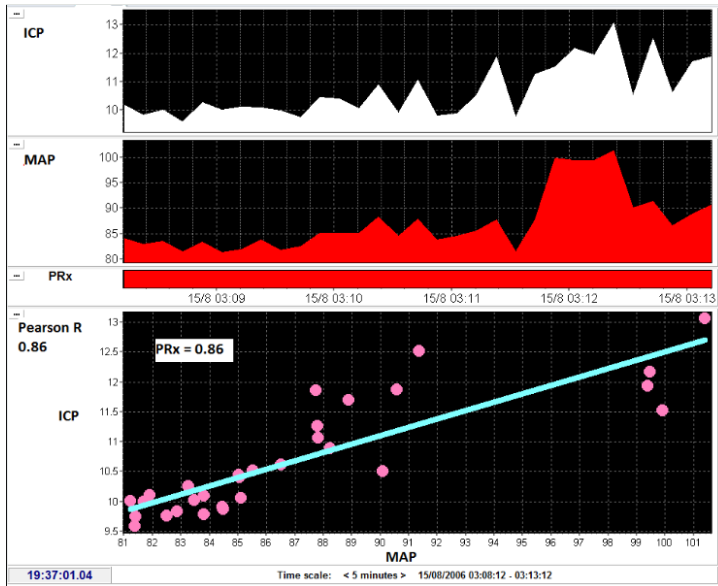
Sensor de PIC

> 0.2 aumento mortalidad.
> 0.05 desenlace desfavorable.

Índice de la reactividad a la Presión (PRx)

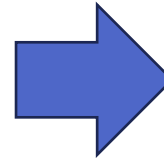


< 0.03 autorregulación conservada.



Sensor de PIC

Índice de la reactividad a la
Presión (PRx)



PPC ÓPTIMA

> Crit Care Med. 2002 Apr;30(4):733-8. doi: 10.1097/00003246-200204000-00002.

Continuous monitoring of cerebrovascular pressure reactivity allows determination of optimal cerebral perfusion pressure in patients with traumatic brain injury

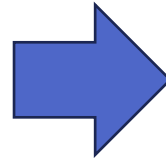
Luzius A Steiner¹, Marek Czosnyka, Stefan K Piechnik, Piotr Smielewski, Doris Chatfield, David K Menon, John D Pickard

Aquella **PPC** a la cual los vasos sanguíneos **reaccionan mejor.**

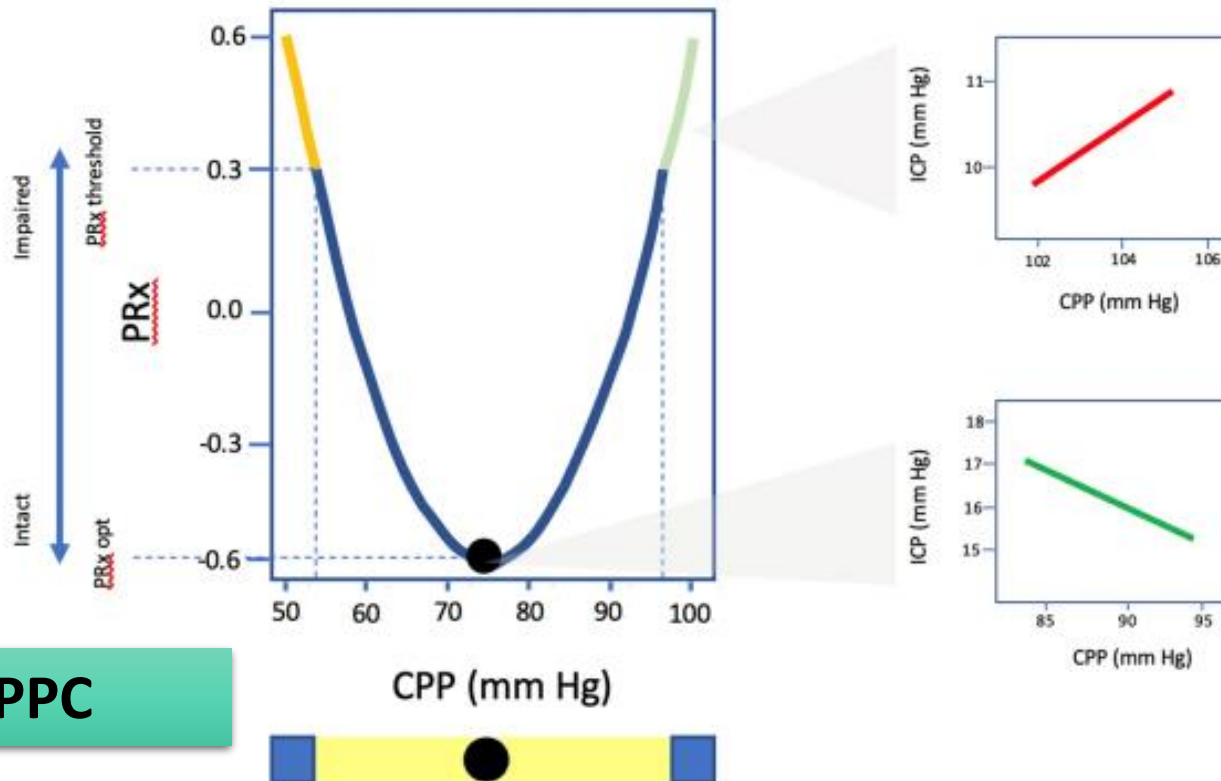
Los pacientes con PPC más cercanas a la PPCopt + posibilidades de outcome favorable.

Sensor de PIC

Índice de la reactividad a la Presión (PRx)



PPC ÓPTIMA



Límites PPC



Sensor de PIC

¿Aplicabilidad?

Clinical Trial > J Neurotrauma. 2021 Oct 15;38(20):2790-2800. doi: 10.1089/neu.2021.0197.

Epub 2021 Aug 16.

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

Jeanette Tas^{1,2}, Erta Beqiri³, Ruud C van Kaam⁴, Marek Czosnyka^{3,5}, Joseph Donnelly³, Roel H Haeren^{2,6}, Iwan C C van der Horst^{1,7}, Peter J Hutchinson⁸, Sander M J van Kuijk⁹, Analisa L Liberti^{1,10}, David K Menon¹¹, Cornelia W E Hoedemaekers⁴, Bart Depreitere¹², Peter Smielewski³, Geert Meyfroidt¹³, Ari Ercole¹¹, Marcel J H Aries^{1,2}

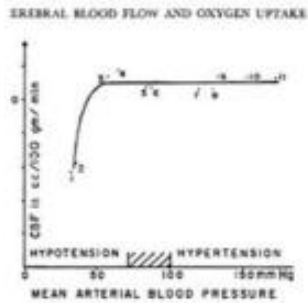


- ✓ Es una medida **segura y factible** en la práctica clínica.
- ✓ **↓** Mortalidad en el brazo de tratamiento (23% vs 44%).
- ✓ Sin aumento en la intensidad terapéutica o los efectos adversos.

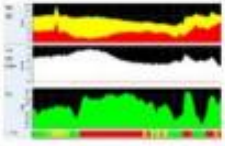
- × Requiere del agotamiento de la complianza cerebral.
- × Datos poco conclusivos cuando no hay efecto masa.
- × Dificultad de caracterizar aquellos pacientes con patrones heterogéneos pérdida de autorregulación.

Sensor de PIC

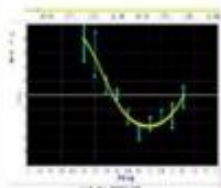
Main steps of optimal CPP oriented therapy history



Improvement of Knowledge on mechanisms of autoregulation



Steiner et al. suggests that a therapy driven on CPP opt may improve outcomes

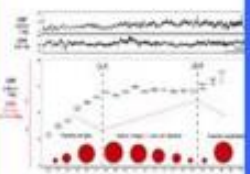


COGITATE study demonstrated feasibility and safety of CPP.

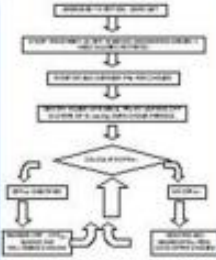


We still don't know the impact on outcome!

Definition of the Lassen curve for CBF regulation



PRx definition (Czosnyka et al)

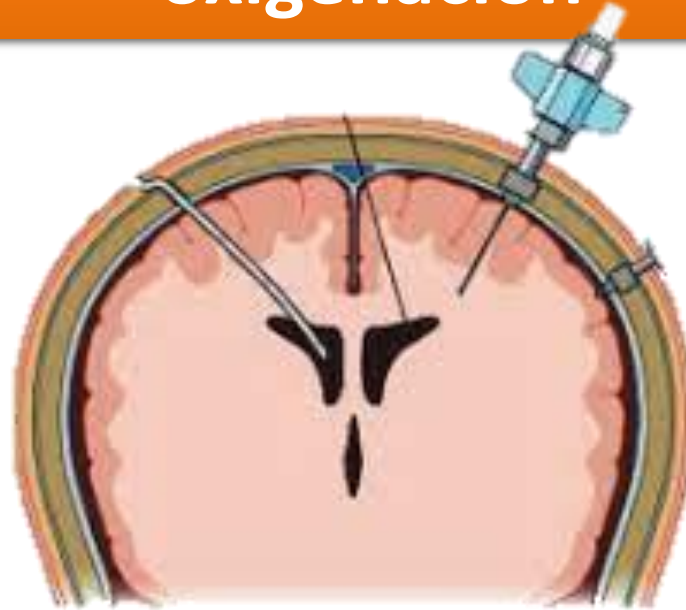


Progressive improvement of technological devices and software, observational studies

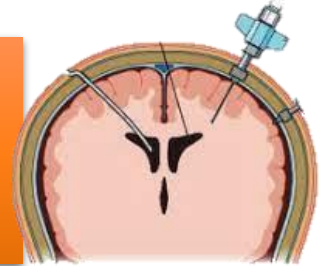




Monitorización de la autorregulación cerebral mediante sensor de oxigenación



Monitores de oxigenación cerebral



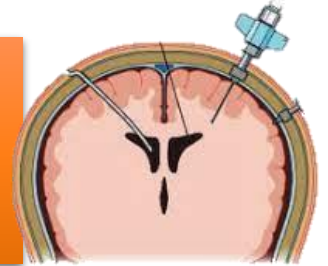
- ✓ Mide la **Presión Parcial de Oxígeno Tisular Cerebral (PbtO₂)**.
- ✓ Refleja el **equilibrio** entre la **entrega, difusión y consumo de oxígeno**.
- ✓ **PbtO₂** ↓ se correlaciona con **peor reactividad cerebral**.

Índice de la Reactividad a la Presión de Oxígeno Tisular (ORx)

> 0.3-0.4 desenlace desfavorable.

Registra **valores medios de PbtO₂ y la PPC** calculados cada 10 - 30s y luego **se correlacionan** de manera continua.

Monitores de oxigenación cerebral



Índice de la Reactividad a la Presión de Oxígeno Tisular (ORx)

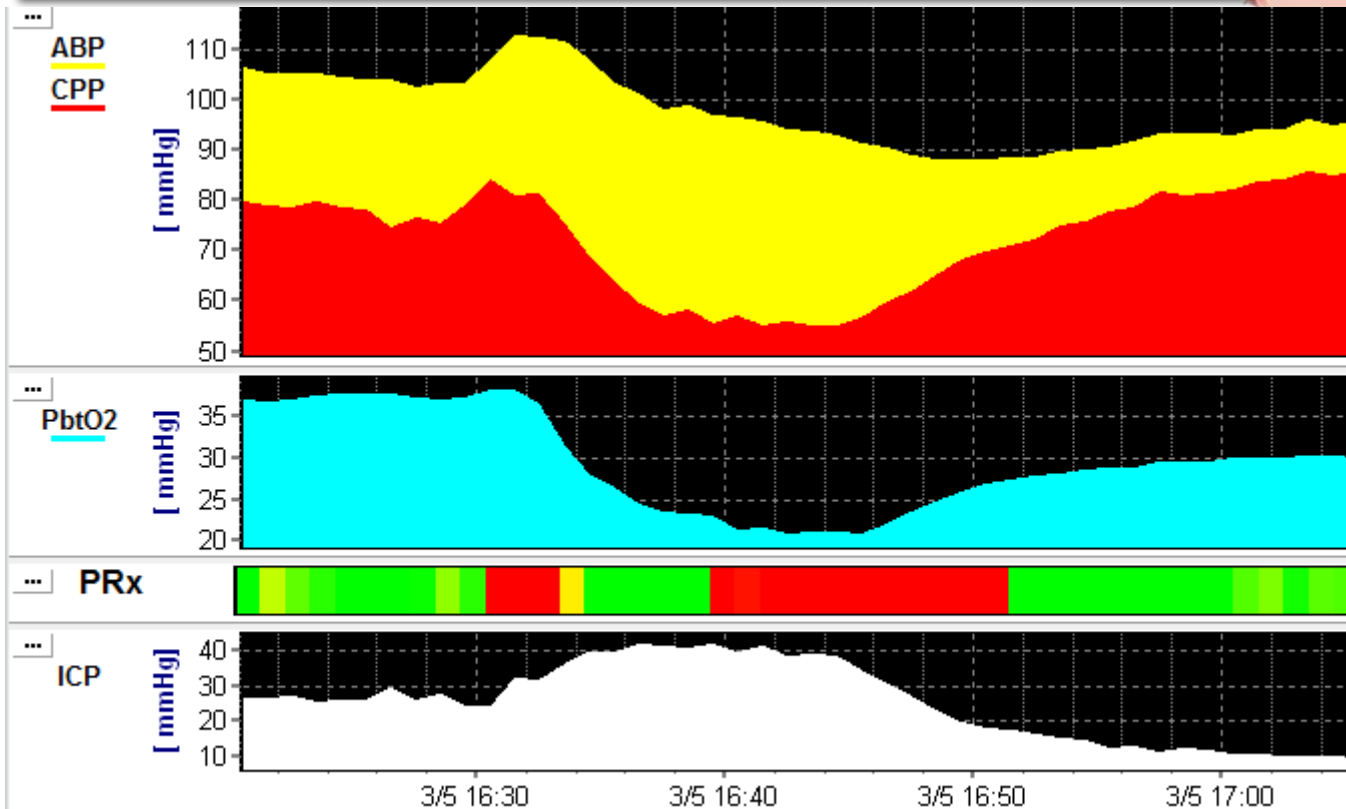
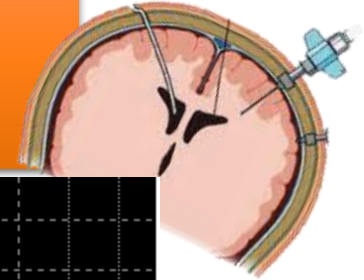


Índice de la reactividad a la Presión (PRx)

Buena correlación con valores de **PtbO₂ bajos** pero **no >40mmHg**.
No hay un límite claro para encontrar la PPC_{OPT} .

- × Monitoriza en una **zona concreta**.
- × **Demasiados factores influyen** el valor de PbtO₂.
- × La evidencia actual es limitada para determinar si es un buen derivado de la autorregulación.

Monitores de oxigenación cerebral



Time scale: < 45 minutes > 03/05/2013 16:20:32 - 17:05:32

SARTD – CHGUV Sesión de formación continuada

Valencia, 13 Febrero 2024

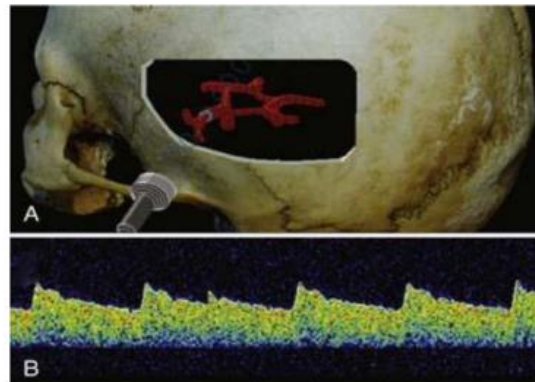
Monitorización de la autorregulación cerebral mediante Doppler Transcraneal



Doppler transcraneal

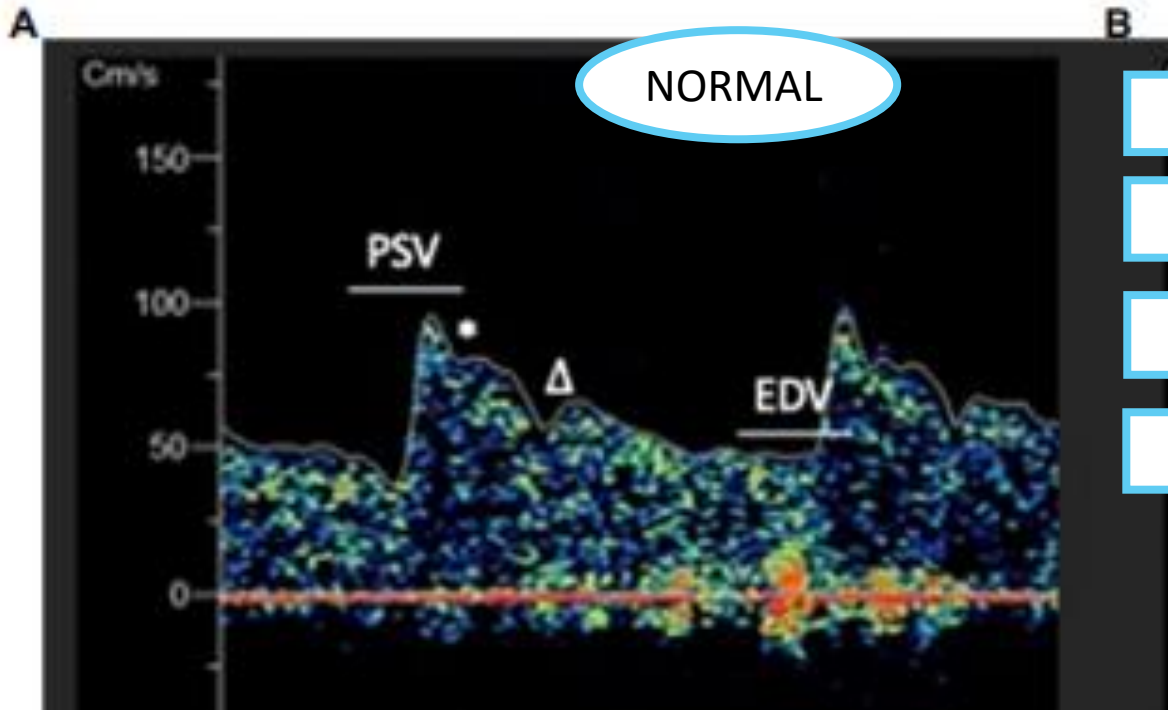
- ✓ No invasivo.
- ✓ Point-of-Care.
- ✓ VELOCIDAD DE FLUJO CEREBRAL

- × Mide velocidades de flujo y no directamente el volumen.
- × Asume que el diámetro de la ACM apenas cambia.
- × **Operador dependiente.**
- × **Intermitente.**



Doppler transcraneal

- ✓ **VELOCIDAD DE FLUJO CEREBRAL.**
- ✓ Estudio de la **onda** de Velocidad de Flujo Cerebral.
- ✓ Velocidad Pico, diastólica y **velocidad media (MFV).**
- ✓ **Índice de pulsatilidad** se correlaciona con la PIC.



Vel. Pico Sistólica

Muesca de Windkessel

Muesca dicota

Vel. Diastólica Final



Doppler transcraneal

1. Índice de **Autorregulación Dinámico**.
2. Índice de autorregulación mediante análisis de función de transferencia.
3. Prueba de respuesta hiperémica transitoria.
4. **Índice de Flujo Medio, Sistólico y Diastólico (Mx, Sx, Dx).**



Doppler transcraneal

CBF velocity	TCD	Dynamic autoregulatory index	CBF velocity and MAP
CBF velocity	TCD	Systolic flow velocity index	Systolic CBF velocity and MAP
CBF velocity	TCD	Mean flow velocity index	Mean CBF velocity and MAP
CBF velocity	TCD	Mean flow velocity index	Mean CBF velocity and cerebral perfusion pressure

- <4
- >0.1
- >0.05
- >0.3
- >0.46
- >0.3

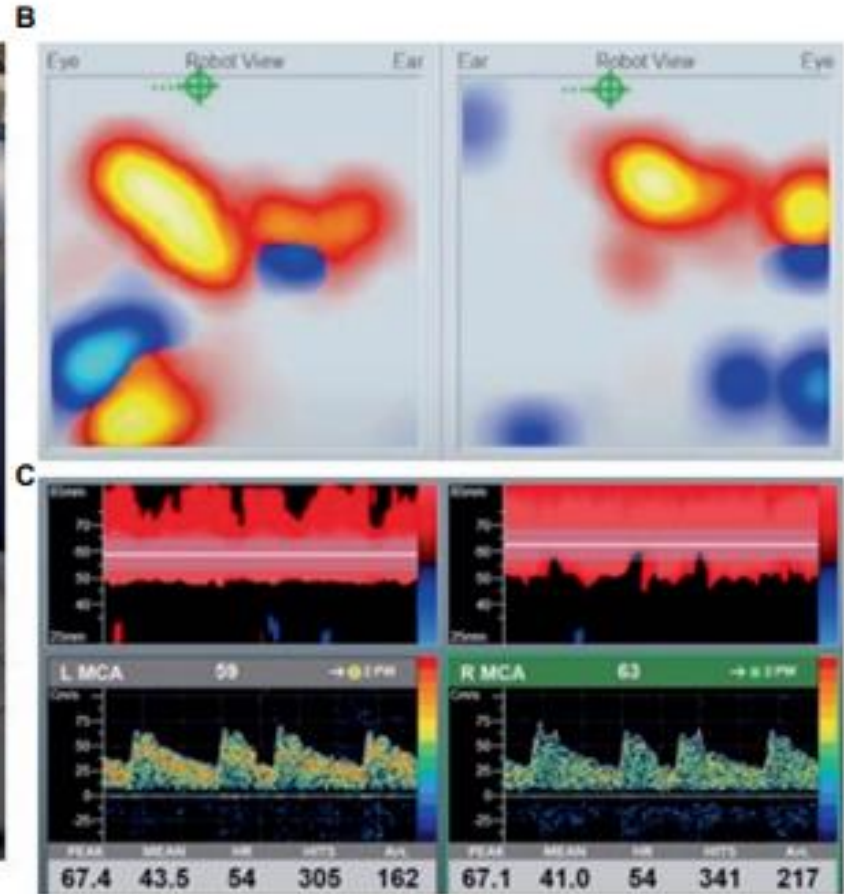
Índice de Velocidad Media :
Correlación entre la **Velocidad Media del Flujo Cerebral** y la **PAM** o la **PPC** en un tiempo.

< 0.05 función preservada

Se correlaciona con **resultados clínicos desfavorables** y un mayor **riesgo de mortalidad.**



Doppler transcraneal





Doppler transcraneal



El Doppler transcraneal se utiliza cada vez más en **la fase inicial** de los traumatismos craneoencefálicos graves (TBI).

La DT es útil para **adaptar la gestión terapéutica** en la cabecera del paciente.

La DT puede **descartar la hipertensión intracraneal**.

Después de un TBI leve a moderado, el DT ayuda en la clasificación de pacientes con **riesgo de empeoramiento neurológico**.

El DT también es útil en la unidad de cuidados intensivos (UCI) **para evaluar la autorregulación cerebral**.

Monitorización de la autorregulación cerebral mediante Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS)





Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS)

- ✓ Saturación regional de oxígeno cerebral.
- ✓ Monitorización continua.
- ✓ No invasivo.

- × Asume que la bilirrubina y citocromo aa son mínimos.
- × Asume que la Hb medida se encuentra en una mezcla fija en los vasos.
- × Variaciones Inter fabricantes.

Índice de Oximetría Cerebral :
Correlación entre **Saturación regional de Oxígeno** y la **PAM** o la **PPC** en un tiempo.



Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS)

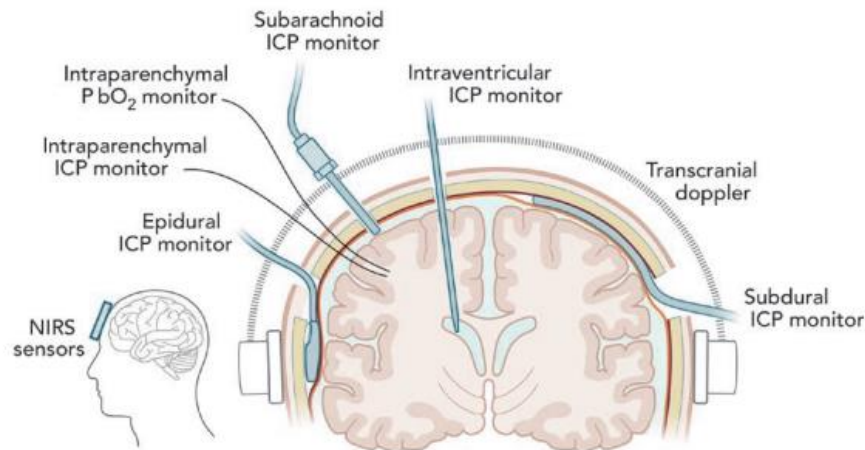
Surrogate of CBF	Device or Monitor	Cerebral Autoregulation Index	Correlation Between	Cutoff for impaired CA
Regional cerebral oxygenation	NIRS	Cerebral oximetry index	Regional cerebral oxygenation and MAP	>0.3
Total hemoglobin volume	NIRS	Hemoglobin volume index	Total hemoglobin volume and MAP	>0.3
Regional cerebral oxygenation	NIRO	Tissue oxygen index	Regional cerebral oxygenation and MAP	>0.1 >0.13

Índice de la Oximetría Cerebral (COx)

× **Por el momento, limitada evidencia clínica.**

INVASIVOS

Modalidad	Descripción	Señal	Límites	Índice de autorregulación	Límites
Presión intracraneal	Sensor en el parénquima o ventricular.	PIC PPC	20 -22 mmHg 60-70mmHg	PRx (PIC – PAM)	>0,2 mortalidad > 0,05 resultado desfavorable
Oxigenación tejido cerebral	Mide la presión parcial de oxígeno. Refleja el balance entre entrega, difusión y consumo.	PbtO ₂	> 15-20 mmHg	ORx (PbtO ₂ - PPC)	> 0,3- 0,4 resultado desfavorable





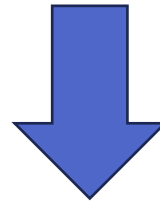
NO INVASIVOS



Modalidad	Descripción	Señal	Límites	Índice de autorregulación	Límites
Doppler trasncraneal	Ultrasonidos de baja frecuencia capaz de detectar flujo sanguíneo cerebral proximal.	VFSC VSP VDF VM PI	ACM (VM) >160 - 200cm en HSA. VM < 40cm/s o VD <20-25 cm/s peor resultado en TCE. PI > 1.3- 1.5 peor resultado TCE	Sx (VSP – PPC) Sx_a (VSP -PAM) Mx (VM – PPC) Mx_a (VM-PAM)	> 0.05-0.2 mortalidad >0.1-03 outcome desfavorable
Espectroscopia de infrarrojo cercano	Fuente de luz de infrarrojo cercano sensible el estatus de oxigenación de la Hb	rSO2 TOI	< 50-60% o descenso >13% del basal	COx (rSO2 –PAM) TOI (TOI –PAM) THx (HbT- PAM)	Evidencia clínica limitada. En general, valores (+) implican pérdida autorregulación.



Monitorización de la autorregulación



Terapias **personalizadas adaptadas al paciente**, basadas en el **monitización dinámica** de parámetros como la **Presión Arterial Media**, la **Presión Intracraneal**, la **Presión de Perfusión Cerebral** y la **Presión parcial de oxígeno en el tejido cerebral**.



LIMITACIONES

1. La mayoría de los estudios que disponemos son retrospectivos y con muestras pequeñas. **No disponemos de evidenciade clase I.**
2. **No** está clara la **relación causa-efecto** entre mantener la PPC/PAMopt y los **mejores resultados.**
3. Por el momento, **no disponemos de intervenciones** sólidas para modular la autorregulación.
4. Es una **tecnología cara y “time-consuming”.**

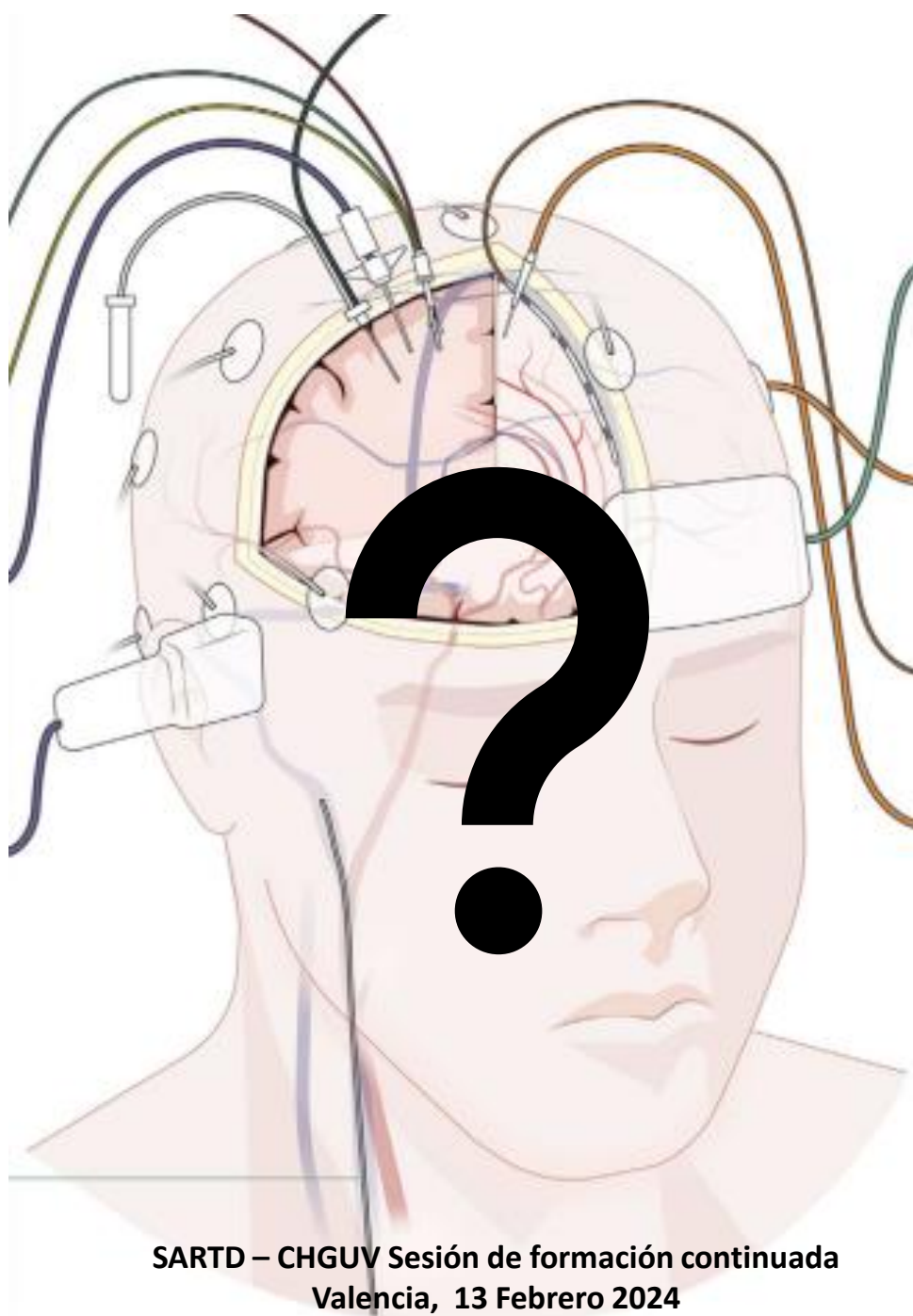




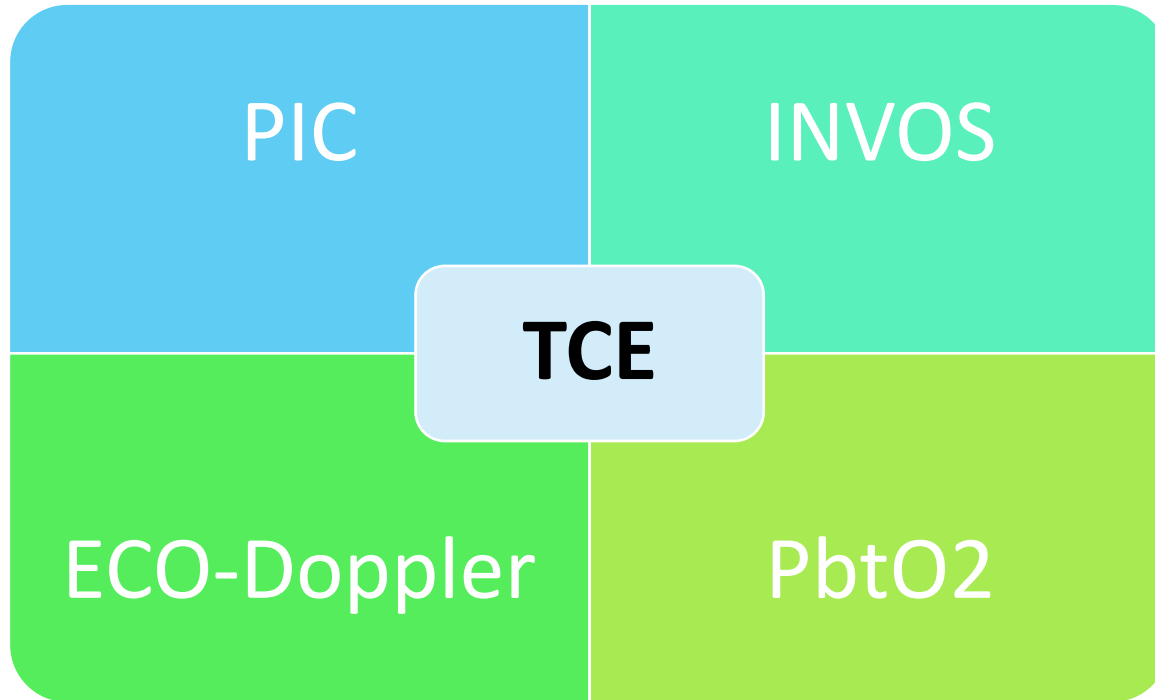
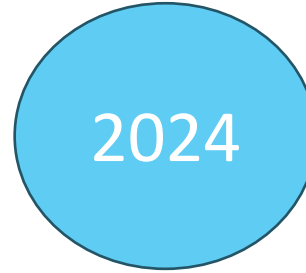
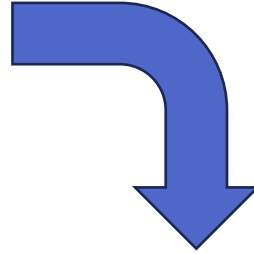
CONSORCI
HOSPITAL GENERAL
UNIVERSITARI
VALÈNCIA



Servicio de Anestesia,
Reanimación y Tratamiento del Dolor
HOSPITAL GENERAL UNIVERSITARIO VALENCIA



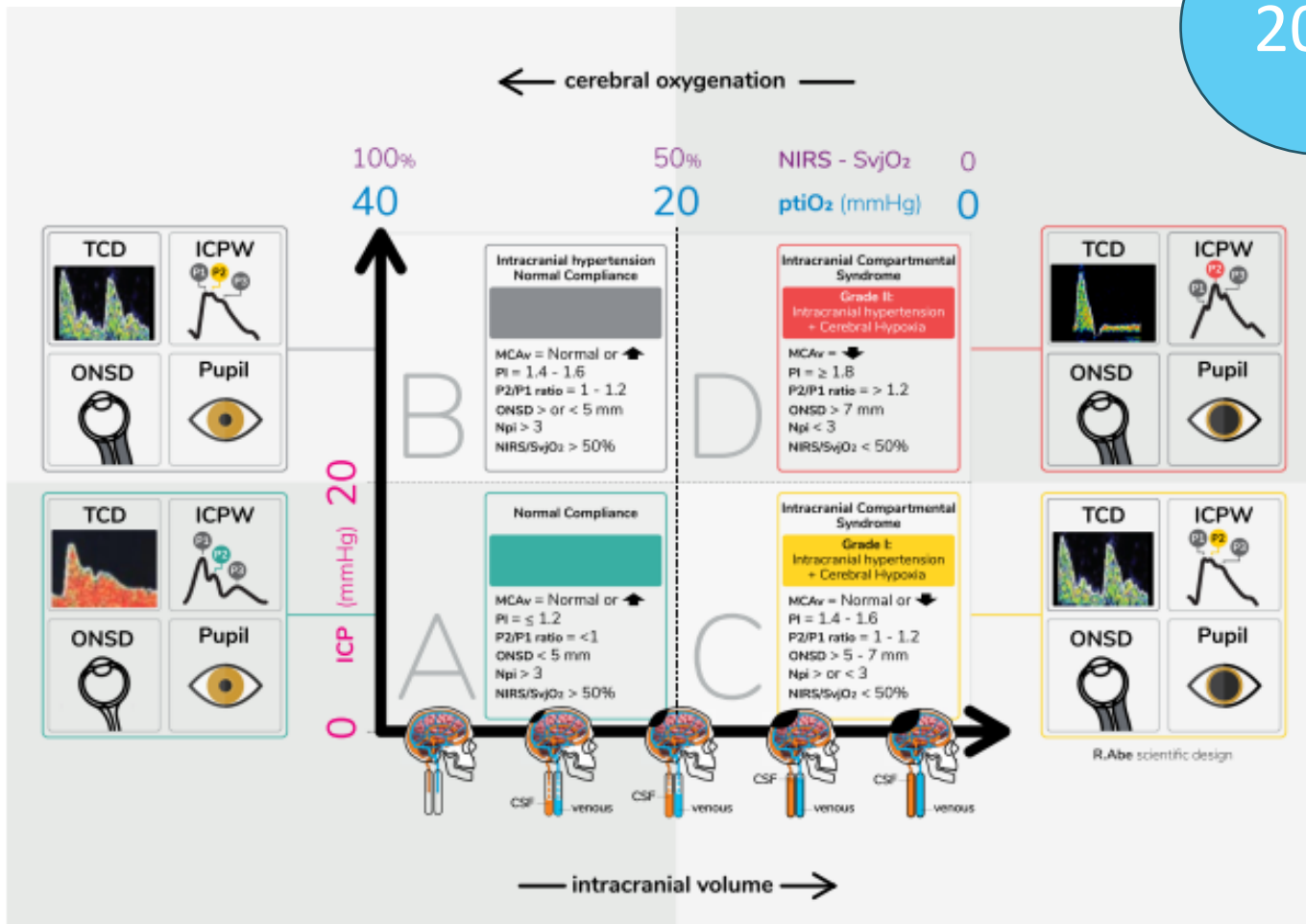
**SARTD – CHGUV Sesión de formación continuada
Valencia, 13 Febrero 2024**



Evaluación integral cuantitativa y cualitativa

Nuevos modelos terapéuticos

2024





CONCLUSIONES



1. Hay un **interés creciente en la autorregulación cerebral**, especialmente en la obtención de la **PPCOpt y PAM óptima**.
2. Mantener a los pacientes dentro de los **límites de PPC/PAMopt** parece ser **viable** y tener **resultados favorables**.
3. Su aplicación clínica **requiere de más estudios prospectivos**, aunque parece prometedora.
4. Es una **evolución natural** que futuros avances tecnológicos en este campo produzcan tecnologías más accesibles que permitan la **monitorización de la autorregulación en la cabecera del paciente**.
5. El **Doppler transcraneal es presente y futuro** en el manejo del paciente neurocrítico.



BIBLIOGRAFÍA

- 1. Rivera-Lara L, Zorrilla-Vaca A, Geocadin RG, Healy RJ, Ziai W, Mirski MA. Cerebral Autoregulation-oriented Therapy at the Bedside: A Comprehensive Review. *Anesthesiology*. 2017 Jun;126(6):1187-1199. doi: 10.1097/ALN.0000000000001625**
2. Menon DK, Schwab K, Wright DW, Maas AI. Position statement: Definition of traumatic brain injury. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* [Internet] 2010 [cited 2023 Jan 23];91:1637–40. Available from: <http://www.archivespmr.org/article/S0003999310006507/fulltext>
3. Rubiano AM, Figaji A, Hawryluk GW. Intracranial pressure management: moving beyond guidelines. *Curr Opin Crit Care*. 2022 Apr 1;28(2):101-110. doi: 10.1097/MCC.0000000000000920.
4. Moerman A, De Hert S. Why and how to assess cerebral autoregulation? *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. 2019 Jun;33(2):211-220. doi: 10.1016/j.bpa.2019.05.007
- 5. Steiner LA, Czosnyka M, Piechnik SK, Smielewski P, Chatfield D, Menon DK, Pickard JD. Continuous monitoring of cerebrovascular pressure reactivity allows determination of optimal cerebral perfusion pressure in patients with traumatic brain injury. *Crit Care Med*. 2002 Apr;30(4):733-8. doi: 10.1097/00003246-200204000-00002.**



BIBLIOGRAFÍA

6. Tas J, Beqiri E, van Kaam RC, Czosnyka M, Donnelly J, Haeren RH, van der Horst ICC, Hutchinson PJ, van Kuijk SMJ, Liberti AL, Menon DK, Hoedemaekers CWE, Depreitere B, Smielewski P, Meyfroidt G, Ercole A, Aries MJH. 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.
7. Bellapart J, Fraser JF. Transcranial Doppler assessment of cerebral autoregulation. *Ultrasound Med Biol*. 2009 Jun;35(6):883-93. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2009.01.005.
8. **Vitt JR, Loper NE, Mainali S. Multimodal and autoregulation monitoring in the neurointensive care unit. *Front Neurol*. 2023 Apr 20;14:1155986. doi: 10.3389/fneur.2023.1155986**
9. **Sarwal A, Robba C, Venegas C, Ziai W, Czosnyka M, Sharma D. Are We Ready for Clinical Therapy based on Cerebral Autoregulation? A Pro-con Debate. *Neurocrit Care*. 2023 Oct;39(2):269-283. doi: 10.1007/s12028-023-01741-1.**



BIBLIOGRAFÍA

10. Klein SP, Depreitere B, Meyfroidt G. How I monitor cerebral autoregulation. *Crit Care*. 2019 May 7;23(1):160. doi: 10.1186/s13054-019-2454-1.
11. **Donnelly J, Czosnyka M, Adams H, Robba C, Steiner LA, Cardim D, Cabella B, Liu X, Ercole A, Hutchinson PJ, Menon DK, Aries MJH, Smielewski P. Individualizing Thresholds of Cerebral Perfusion Pressure Using Estimated Limits of Autoregulation. *Crit Care Med*. 2017 Sep;45(9):1464-1471. doi: 10.1097/CCM.0000000000002575.**
12. Claassen JAHR, Thijssen DHJ, Panerai RB, Faraci FM. Regulation of cerebral blood flow in humans: physiology and clinical implications of autoregulation. *Physiol Rev*. 2021 Oct 1;101(4):1487-1559. doi: 10.1152/physrev.00022.2020.
13. Liu X, Czosnyka M, Robba C, Ming D. Editorial: Cerebral autoregulation and neurovascular coupling in brain disorders. *Front Neurol*. 2022 Sep 9;13:1001342. doi: 10.3389/fneur.2022.1001342.
14. Purkayastha S, Sorond F. Transcranial Doppler ultrasound: technique and application. *Semin Neurol*. 2012 Sep;32(4):411-20. doi: 10.1055/s-0032-1331812.



CONSORCI
HOSPITAL GENERAL
UNIVERSITARI
VALÈNCIA



Servicio de Anestesia,
Reanimación y Tratamiento del Dolor
HOSPITAL GENERAL UNIVERSITARIO VALENCIA



**SARTD – CHGUV Sesión de formación continuada
Valencia, 13 Febrero 2024**



Monitorización cerebral más allá de la presión intracraneal: monitorización de la perfusión cerebral y la autorregulación en el TCE grave.



Dra. Lydia Salvador Gozalbo

MIR Violeta Pérez Marí (R3)

**Servicio Anestesia Reanimación y Tratamiento del Dolor
Consorcio Hospital General de Valencia**

**SARTD – CHGUV Sesión de formación continuada
Valencia, 13 Febrero 2024**