



## Técnicas de monitorização da pressão intracraniana não invasiva em traumatismo craneoencefálico grave

Non-invasive intracranial pressure monitoring techniques in severe traumatic brain injury

Técnicas de monitoreo de presión intracraneal no invasivas en traumatismo craneoencefálico grave

Beatriz Cardoso Diaz Pagliarini<sup>1</sup>, Júlia Gomes Marcidelli<sup>2</sup>, Dara Dophine<sup>2</sup>, Alana Queiroz Leão<sup>3</sup>, Laís Rayane Martins Gonçalves<sup>4</sup>, Luisa Badia Dias<sup>5</sup>, Marcella Almeida de Souza<sup>6</sup>, Thaynara Tabosa Pereira<sup>7</sup>, Karina de Araujo Mazzini<sup>4</sup>, Neidejany de Assunção do Sacramento<sup>8</sup>.

### RESUMO

**Objetivo:** Analisar as diversas técnicas de monitorização da pressão intracraniana não invasiva que podem ser empregadas em pacientes com traumatismo craneoencefálico grave, resumindo as evidências disponíveis e destacando as vantagens e desvantagens de cada método. **Métodos:** Através da plataforma de dados PubMed, foi conduzida uma Revisão Integrativa para sintetizar as informações relevantes sobre o tema. A pesquisa foi realizada utilizando os descritores "Lesões Cerebrais", "Encefalopatias Traumáticas", "Pressão Intracraniana", "Monitorização por Doppler Transcraniano", "Índice de Perfusão Cerebral", "Fotopletismografia por Infravermelho", em combinação com os operadores booleanos "OR" e "AND" para a busca de artigos, resultando em 533 artigos iniciais, dos quais apenas 13 atenderam aos critérios de seleção, tornando-se fontes oficiais. **Resultados:** Os estudos corroboram o Índice de Pressão de Perfusão Cerebral (PPC) como técnica padrão-ouro, demonstram a ineficácia da Pletismografia por Infravermelho na prática clínica e, adicionalmente, revelam resultados promissores, embora ainda limitados, relacionados à Monitorização Transcraniana por Doppler (MTCD). **Considerações finais:** Destaca-se a necessidade de condução de estudos adicionais que abordem as diversas técnicas de monitorização não invasiva disponíveis, visando ampliar os métodos aplicáveis aos pacientes com traumatismo craneoencefálico grave.

**Palavras-chave:** Pressão intracraniana, Monitorização Transcraniana por Doppler, Índice de perfusão cerebral.

### ABSTRACT

**Objective:** To analyze the various techniques of non-invasive intracranial pressure monitoring that can be employed in patients with severe traumatic brain injury, summarizing the available evidence and highlighting the advantages and disadvantages of each method. **Methods:** Through the PubMed database platform, an Integrative Review was conducted to synthesize relevant information on the topic. The search was carried out

<sup>1</sup>Universidade do Grande Rio Professor José de Souza Herdy (UNIGRANRIO), Rio de Janeiro – RJ.

<sup>2</sup>Centro Universitário de Várzea Grande (UNIVAG), Várzea Grande – MT.

<sup>3</sup>Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA), Anápolis – GO.

<sup>4</sup>Universidade Anhanguera (UNIDERP), Campo Grande – MS.

<sup>5</sup>Universidade Estácio de Sá (UNESA), Rio de Janeiro – RJ.

<sup>6</sup>Faculdade de Medicina de Petrópolis (FMP), Petrópolis – RJ.

<sup>7</sup>Universidade Estácio de Sá (UNESA), Rio de Janeiro – RJ.

<sup>8</sup>Universidad Nacional de Rosário (UNR), Rosário – Argentina.

using the descriptors "Brain Injuries," "Traumatic Encephalopathies," "Intracranial Pressure," "Transcranial Doppler Monitoring," "Cerebral Perfusion Index," "Infrared Photoplethysmography," in combination with the boolean operators "OR" and "AND" for article retrieval, resulting in 533 initial articles, of which only 13 met the selection criteria, becoming official sources. **Results:** Studies corroborate the Cerebral Perfusion Pressure (CPP) as the gold standard technique, demonstrate the inefficacy of Infrared Photoplethysmography in clinical practice, and additionally reveal promising but still limited results related to Transcranial Doppler Monitoring (TCD). **Final considerations:** The need for additional studies addressing the various available non-invasive monitoring techniques is highlighted, aiming to expand the applicable methods for patients with severe traumatic brain injury.

**Keywords:** Intracranial pressure, Transcranial Doppler Monitoring, Cerebral Perfusion Index.

---

## RESUMEN

**Objetivo:** Analizar las diversas técnicas de monitoreo de la presión intracraneal no invasiva que pueden emplearse en pacientes con traumatismo craneoencefálico grave, resumiendo las evidencias disponibles y destacando las ventajas y desventajas de cada método. **Métodos:** A través de la plataforma de datos PubMed, se llevó a cabo una Revisión Integradora para sintetizar información relevante sobre el tema. La búsqueda se realizó utilizando los descriptores "Lesiones Cerebrales", "Encefalopatías Traumáticas", "Presión Intracraneal", "Monitoreo Transcraneal por Doppler", "Índice de Perfusión Cerebral", "Fotoplethysmografía por Infrarrojo", en combinación con los operadores booleanos "OR" y "AND" para la recuperación de artículos, lo que resultó en 533 artículos iniciales, de los cuales solo 13 cumplieron con los criterios de selección, convirtiéndose en fuentes oficiales. **Resultados:** Los estudios corroboran el Índice de Presión de Perfusión Cerebral (CPP) como técnica estándar de oro, demuestran la ineficacia de la Fotoplethysmografía por Infrarrojo en la práctica clínica y además revelan resultados prometedores, pero aún limitados relacionados con el Monitoreo Transcraneal por Doppler (MTCD). **Consideraciones finales:** Se destaca la necesidad de realizar estudios adicionales que aborden las diversas técnicas de monitoreo no invasivo disponibles, con el objetivo de ampliar los métodos aplicables a pacientes con traumatismo craneoencefálico grave.

**Palabras clave:** Presión intracraneal, Monitoreo transcraneal por Doppler, Índice de perfusión cerebral.

---

## INTRODUÇÃO

A monitorização da pressão intracraniana (PIC) desempenha um papel de extrema importância no acompanhamento de indivíduos que enfrentam lesões encefálicas traumáticas ou não traumáticas, uma vez que tais situações frequentemente culminam em episódios de hipertensão intracraniana (HIC) (WIÓREK A, et al., 2020; AIOLFI A, et al., 2017).

Nesse contexto, torna-se de fundamental importância estabelecer um valor de PIC preciso, habilitando os profissionais de saúde a adotarem intervenções imediatas em cenários emergenciais. A faixa de valores normais para a PIC varia conforme a idade: de 5 a 10 mmHg em adultos, de 3 a 7 mmHg em crianças e de 1,5 a 6 mmHg em recém-nascidos a termo. Tais parâmetros são intrinsecamente influenciados por elementos do perfil individual, como estatura e peso, sendo fortemente moldados pela interação dinâmica entre fatores como volume encefálico, líquido cefalorraquidiano e volume sanguíneo intracraniano (SCHIZODIMOS T, et al., 2020; CHESNUT RM e VIDETTA W, 2020).

No presente contexto, coexistem metodologias conservadoras e invasivas para a avaliação e manejo da PIC. Contudo, as técnicas associadas a essas abordagens ainda carecem de evidências conclusivas que apontem para desfechos prognósticos favoráveis (O'BRIEN NF, et al., 2020). Nesse cenário, a busca por um consenso universal referente à abordagem ótima de monitorização e tratamento da PIC em pacientes críticos revela-se um desafio complexo, tendo em vista a coexistência de modalidades de registro, desde o método manual até o emprego de sistemas computacionais (WIÓREK A, et al., 2020).

De modo predominante, nas unidades de terapia intensiva em escala global, os registros advindos de monitoramento eletrônico são capturados manualmente por profissionais de enfermagem e médicos. Embora essa abordagem não exija recursos tecnológicos avançados ou treinamento especializado, sua aplicação pode depender de discernimentos arbitrários, como a seleção de um ponto específico em situações de rápida flutuação dos parâmetros ou a obtenção de uma média representativa em um determinado intervalo temporal (ZOERLE T, et al., 2023).

No intuito de otimizar a eficiência e a exatidão do registro manual, visando a propósitos específicos na unidade clínica, têm emergido softwares para dispositivos móveis, apresentando acessibilidade, confiabilidade e usabilidade mesmo para profissionais menos versados em programação (GALOS P, et al., 2022).

O dispositivo de monitoramento de PIC ideal deve reunir atributos de confiabilidade, precisão, viabilidade econômica e minimização de morbidades associadas. É importante destacar que, apesar da existência de métodos não invasivos de monitorização, nenhum deles substitui integralmente a abordagem invasiva, mas pode desempenhar um papel coadjuvante na decisão de iniciar a monitorização invasiva, guiando essa transição (SCHIZODIMOS T, et al., 2020; ZHANG X, et al., 2017). Diante desse panorama, o presente estudo se propõe a investigar as modalidades de monitorização, com ênfase nas estratégias não invasivas, e a avaliar sua eficácia.

O objetivo central deste artigo de revisão integrativa residiu na análise crítica das distintas técnicas de monitorização não invasiva da pressão intracraniana em indivíduos que enfrentaram trauma cranioencefálico severo. Serão sintetizadas as evidências disponíveis, enquanto se destacam os prós e contras de cada abordagem. Dentre os métodos não invasivos sob análise, incluem-se a monitorização transcraniana por Doppler, o índice de perfusão cerebral e a pletismografia por infravermelho, os quais serão minuciosamente discutidos.

## MÉTODOS

Trata-se de uma revisão integrativa desenvolvida de acordo com os critérios da estratégia PVO, sigla que representa: população ou problema da pesquisa, variáveis e desfecho. Foi utilizada para a elaboração da pesquisa a seguinte questão norteadora: 'Quais são as técnicas de monitorização da pressão intracraniana (PIC) não invasivas atualmente utilizadas em pacientes com trauma encefálico grave?'.

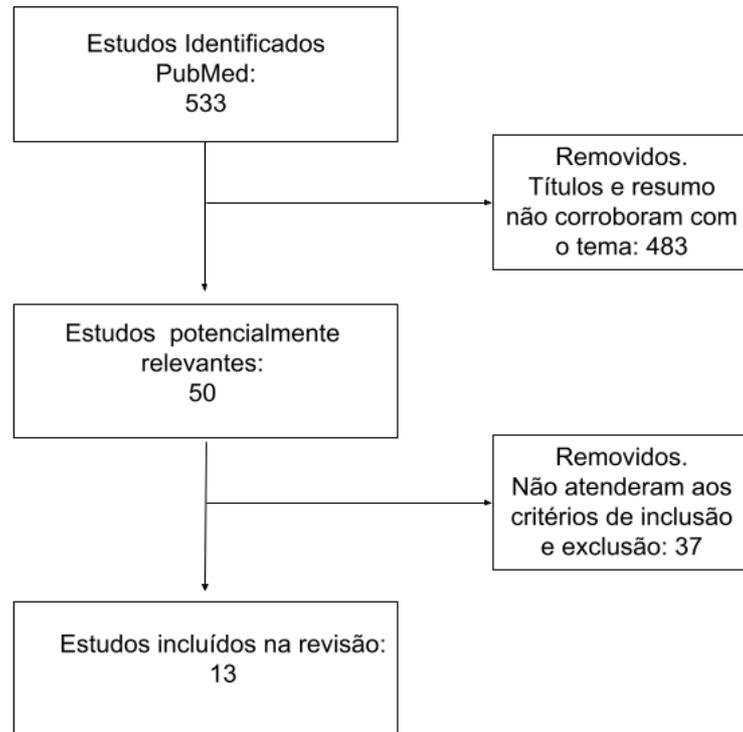
Nesse sentido, conforme os parâmetros mencionados acima, a população ou o problema desta pesquisa refere-se a pacientes com trauma encefálico grave, demandando uma análise crítica de diversas técnicas de monitorização da pressão intracraniana não invasivas. Tal análise apresenta as evidências disponíveis e destaca as vantagens e desvantagens de cada método.

As buscas foram realizadas por meio de pesquisa na base de dados do PubMed Central (PMC). Foram utilizados os descritores em combinação com o termo booleano 'AND': 'Brain Injuries', 'Traumatic Encephalopathies', 'Intracranial Pressure', 'Transcranial Doppler Monitoring', 'Cerebral Perfusion Index', 'Infrared Photoplethysmography'. Dessa busca, foram encontrados 533 artigos, que posteriormente foram submetidos aos critérios de seleção.

Os critérios de inclusão adotados foram: artigos nos idiomas português e inglês; publicados no período de 2017 a 2023; e que abordassem as temáticas propostas para esta pesquisa, incluindo estudos do tipo (observacional prospectivo, prova de conceito, artigos de revisão, retrospectivo e estudo experimental), disponibilizados na íntegra.

Já os critérios de exclusão abrangeram artigos duplicados, aqueles disponibilizados apenas na forma de resumo, que não tratavam diretamente da proposta estudada e que não atendiam aos demais critérios de inclusão. Um total de 13 artigos foi selecionado para compor o presente estudo.

**Figura 1** – Fluxograma textual do processo de seleção dos estudos de forma sequencial.



Fonte: Pagliarini BCD, et al., 2024.

## RESULTADOS

Através da combinação dos descritores empregados na base de dados pesquisada, um total de 533 artigos foi inicialmente identificado. Posteriormente, a aplicação rigorosa dos critérios de inclusão e exclusão permitiu a seleção de 50 artigos para uma análise detalhada, sendo que 37 destes foram prontamente descartados devido à detecção de duplicações durante o processo de seleção. Desse modo, a etapa final resultou em 13 artigos que atenderam integralmente aos critérios de relevância para condução da análise, como evidenciado na **Figura 1**, representando uma amostra mais refinada e apropriada para a investigação em questão.

**Quadro 1** – Síntese dos principais achados das técnicas de anastomose em cirurgias gastrointestinais.

Revista	Autores (Ano)	Principais achados
Brain and Behavior	CHANG T, et al. (2021)	Estudo retrospectivo. A correlação entre diâmetro da bainha do nervo óptico ou índice de pulsatilidade e pressão intracraniana invasiva foi diferente com diferentes níveis de PIC em diferentes períodos em pacientes com TCE no pós-operatório.
JAMA Network Open	MANSOUR A, et al. (2023)	Estudo observacional comparativo. Neste estudo foi associado à diminuição da mortalidade e aumento da permanência na unidade de terapia invasiva em coortes pareadas de pacientes com lesão cerebral penetrante grave durante o período do estudo.
Journal of Clinical Monitoring and Computing	BRASIL S, et al. (2023)	Estudo de coorte. Os valores de valores médios da PIC e P2/P1 foram significativamente correlacionados e uma especificidade de 69%. Resultados semelhantes foram observados quando pacientes com craniectomia descompressiva foram excluídos.
Scientific Reports	MLADEK A, et al. (2021)	Estudo experimental. Foi desenvolvido um traveseiro com sensores mecânicos embutidos e coletamos um extenso conjunto de dados de micromovimentos cranianos e da pressão intracraniana intraparenquimatosa de referência.

Child's Nervous System	O'BRIEN N, et al (2020)	Revisão retrospectiva. A pressão de perfusão cerebral estimada (CPPe) e a correlação entre a pressão crítica de fechamento e a pressão de perfusão cerebral (CrCP/ CPP) não têm valor clínico para estimar a CCP absoluta em pacientes pediátricos com traumatismo cranioencefálico grave.
Acta Neurochirurgica	CALVIELLO LA, et al (2020)	Estudo retrospectivo. Os estimadores não invasivos de índice de reatividade pressórica (PRx) e índice de amplitude de pulso (PAx) estão associados aos seus equivalentes invasivos e podem fornecer associações significativas com o resultado após o TCE.
BMC Medical Imaging	ZHOU J, et al. (2019)	Estudo retrospectivo. A medição por ultrassom, especialmente o diâmetro da bainha do nervo óptico, pode ser usada com sucesso em vez do método invasivo de medição da pressão intracraniana em pacientes com lesão cerebral.
IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics	JAISHANKAR R, et al (2020)	Estudo experimental. A exatidão e a precisão na estimativa da pressão de pulso da pressão intracraniana, batimento a batimento, foram de 1,3 mmHg e 2,9 mmHg, respectivamente.
Congress of Neurological Surgeons	KIENZLER JC, et al (2018)	Estudo experimental. Não houve diferença entre os 2 grupos nem houve correlação entre o tipo de sensor e o paciente ou a exatidão e precisão das medições não invasivas da pressão intracraniana.
PLOS medicine	ROBBA C, et al. (2017)	Estudo observacional prospectivo. Dos métodos de monitoramento não invasivo da pressão intracraniana de ultrassom estudados, o diâmetro da bainha do nervo óptico é o melhor estimador da pressão intracraniana. A nova combinação de ultrassonografia o diâmetro da bainha do nervo óptico e Doppler transcraniano venoso do seio reto é uma técnica promissora e facilmente disponível para identificar pacientes gravemente enfermos com hipertensão intracraniana.
J Neurosurg	GANSLANDT O, et al. (2018)	Estudo observacional prospectivo. Este estudo fornece os primeiros dados clínicos sobre a precisão do monitor HS-1000 monitorização da pressão intracraniana não invasiva que usa algoritmos avançados.
Journal of Neurotrauma	FISCHER JB, et al. (2020)	Estudo de prova de conceito. Foi apresentado um novo método promissor e um algoritmo para estimar a pressão intracraniana de maneira contínua e não invasiva com correlação difusa espectroscopia. O método foi demonstrado em lactentes com BESS e adultos com TCE mostrando sua versatilidade.
Korean J Neurotrauma,	SHIM Y, et al. (2023)	Revisão bibliográfica. A falta de evidências de alto nível que demonstrem que o monitoramento de ICP leva a uma melhora significativa nos resultados, sugerindo as incertezas quanto à utilidade do monitoramento de ICP. É importante observar que o campo de monitoramento da PIC está em andamento.

Fonte: Pagliarini BCD, et al., 2024.

## DISCUSSÃO

### Métodos Não Invasivos de Medição da PIC

No cenário atual, o método amplamente reconhecido como padrão ouro para a avaliação da pressão intracraniana (PIC) implica o uso de monitorização intraventricular com drenagem ventricular externa ou a monitorização intraparenquimatosa (GANSLANDT O, et al., 2018). Todavia, ambas as técnicas não escapam de limitações significativas que merecem consideração. Estas limitações incluem uma elevada taxa de infecção associada, com números variando de 3,4% a 32,2%, e a exigência de um posicionamento preciso do cateter, demandando, portanto, recursos de um centro especializado, como salientado por (FISCHER JB,

et al., 2020; MLÁDEK A, et al., 2021). Com efeito, tais desafios e os indesejáveis desfechos clínicos associados a esses métodos têm impulsionado o crescente interesse na busca por alternativas viáveis e seguras, dada a incerteza da relação risco-benefício, uma tendência que tem ganhado destaque no âmbito das investigações e que merece nossa atenção (ROBBA C, et al., 2017).

A monitorização transcraniana por Doppler emerge como uma abordagem que permite avaliar a PIC de diversas maneiras. Isso inclui a medição do diâmetro da bainha do nervo óptico (ONSD), o uso do doppler transcraniano venoso (vTCD) para avaliar a velocidade do fluxo sistólico no seio reto (FVsv) e a aplicação do doppler transcraniano arterial (aTCD) na artéria cerebral média (ACM). A relação entre a PIC e o ONSD tem sido objeto de estudo, visando a sua possível aplicação como alternativa ou complemento à monitorização invasiva. Isso se baseia no princípio de que o aumento da pressão do líquido cefalorraquidiano ao redor do nervo óptico pode resultar em um alargamento, principalmente na porção retrobulbar desse nervo, possibilitando correlações com medidas obtidas por monitorização invasiva da PIC (ROBBA C, et al., 2017; ZHOU J, et al., 2019).

A exploração da utilização do vTCD para avaliar a PIC encontra-se em estágios iniciais de investigação. Atualmente, sabemos que, em situações de aumento da PIC, o sangue venoso tende a acumular-se em direção ao seio reto, resultando em um consequente aumento da velocidade do fluxo venoso nessa região. Este aumento na velocidade do fluxo venoso pode ser diretamente correlacionado com as alterações na pressão intracraniana. Em um estudo que englobou 185 pacientes, esses três métodos mencionados (vTCD, ONSD, e FVsv) foram comparados com a monitorização invasiva da PIC, e os resultados obtidos demonstraram-se estatisticamente significativos ( $p < 0,0001$ ) para todos os métodos testados. Além disso, notou-se que a combinação do uso de ONSD e FVsv revelou um desempenho ainda mais promissor nas medições da pressão intracraniana (ROBBA C, et al., 2017). Portanto, esses achados preliminares indicam um grande potencial para o vTCD como uma técnica de avaliação da PIC não invasiva e promissora.

Outra técnica que pode ser aplicada na avaliação da PIC é o uso do aTCD, que se concentra na análise do índice de pulsatilidade da artéria cerebral média (ACM) (PIa) e utiliza um estimador baseado na velocidade do fluxo diastólico (FVd) como parâmetros de medição. Contudo, é essencial observar que, embora um aumento no índice de pulsatilidade possa suscitar suspeitas sobre um possível aumento da PIC, a relação direta entre esses dois fatores ainda carece de estudos conclusivos que a confirmem (CHANG T, et al., 2021). Além disso, um estudo que se propôs a investigar a conexão entre medidas invasivas e não invasivas em pacientes com traumatismo cranioencefálico grave não conseguiu estabelecer uma associação significativa entre o índice de pulsatilidade da artéria cerebral média e a pressão intracraniana (ZHOU J, et al., 2019). Portanto, embora o aTCD seja uma técnica de interesse, seu uso isolado ainda apresenta limitações na avaliação direta da PIC.

Explorando outras abordagens para a avaliação da pressão intracraniana, temos o índice de pressão de perfusão cerebral (PPC). Atualmente, o cálculo da PPC é realizado subtraindo a pressão intracraniana da pressão arterial média, sendo considerado o padrão-ouro. No entanto, um estudo buscou alternativas para calcular a PPC estimada, envolvendo a diferença entre a pressão arterial cerebral média e a pressão crítica de fechamento (CrCP). Os resultados revelaram uma discrepância significativa entre a PPC estimada e a PPC aferida por meio de métodos invasivos, com uma concordância abrangente entre -17 a +25 mmHg. Isso sugere que o uso clínico da PPC estimada ainda apresenta limitações (O'BRIEN NF, et al., 2020).

O estudo realizado por Brasil et al. fornece uma visão valiosa sobre o uso das formas de onda de pressão intracraniana não invasiva (NICPW) na avaliação da hipertensão intracraniana (IHT) e na previsão de desfechos em pacientes com lesões cerebrais agudas (ABI). Os resultados revelam uma correlação significativa entre os valores médios de pressão intracraniana (mICP) e a relação P2/P1 derivada das NICPW, o que indica a utilidade potencial dessa abordagem não invasiva para monitorizar a pressão intracraniana. Além disso, a relação P2/P1 mostrou uma capacidade promissora na previsão de IHT, com uma área sob a curva do operador receptor (AUROC) de 0,88, sugerindo sua eficácia como um indicador de alerta precoce para IHT. O estudo também destaca a associação entre a relação mICP e P2/P1 e desfechos adversos, como morte precoce (DE), enfatizando seu valor prognóstico. No geral, os resultados indicam que a avaliação não

invasiva das NICPW pode ser uma ferramenta valiosa na gestão de pacientes com ABI, fornecendo informações relevantes sobre a IHT e o prognóstico clínico. Este estudo contribui significativamente para o campo da monitorização intracraniana e sugere a necessidade de considerar a implementação de NICPW em práticas clínicas para melhorar a assistência a pacientes com lesões cerebrais agudas.

Além das técnicas mencionadas, é importante destacar a pletismografia por infravermelho. Este método visa estimar a PIC por meio da análise do fluxo sanguíneo cerebral microvascular pulsátil com espectroscopia de correção difusa. Inicialmente, foi empregado para monitorizar a dessaturação da oxigenação do sangue cerebral, pressupondo que a saturação cerebral de oxigênio poderia servir como um indicador das reduções no fluxo sanguíneo cerebral, que podem ocorrer devido ao aumento da PIC.

No entanto, a dessaturação cerebral é influenciada por variáveis como a pressão arterial média e a saturação de oxigênio, o que torna a estimativa precisa da PIC difícil de ser alcançada. Portanto, este método não pode ser considerado eficaz na prática clínica (FISCHER JB, et al., 2020).

### **Eficácia do Método Não Invasivo da PIC**

A técnica baseada na ultrassonografia transcraniana (TCD) em múltiplas profundidades destaca-se como um feito inovador no cenário da avaliação da pressão intracraniana (PIC), caracterizada por sua segurança, confiabilidade e precisão. O mérito dessa abordagem não está apenas em sua aplicação eficaz de princípios científicos bem estabelecidos, mas também na superação das limitações inerentes à invasividade, proporcionando notáveis correlações entre os valores médios de PIC obtidos de maneira não invasiva e aqueles provenientes de medições invasivas.

Esse fato sinaliza uma notável harmonização de abordagens que, embora distintas, convergem para resultados concordantes (KIENZLER JC, et al., 2019). A TCD em múltiplas profundidades representa, portanto, um avanço promissor na busca por alternativas seguras e eficazes na avaliação da PIC, contribuindo para um diagnóstico mais confiável e menos invasivo.

O estudo realizado por Jaishankar et al. (2020) representa um avanço significativo no campo da monitorização da pressão intracraniana (PIC). As atuais técnicas invasivas de medição da PIC possuem limitações, principalmente restringindo sua aplicação a pacientes gravemente enfermos. O desenvolvimento de um método de estimativa de PIC não invasivo e preciso, conforme demonstrado nesta pesquisa, tem o potencial de revolucionar a monitorização da PIC, ampliando seu uso para uma população de pacientes mais abrangente.

A abordagem espectral utilizada neste estudo, que se baseia em medidas da pressão arterial (ABP) e da velocidade do fluxo sanguíneo cerebral (CBFV), apresentou resultados promissores na estimativa da PIC em populações pediátricas e adultas. A precisão e a exatidão do algoritmo dentro das faixas clinicamente relevantes destacam seu potencial clínico.

Além disso, a capacidade de estimar a pressão de pulso da PIC batimento a batimento adiciona uma camada adicional de informações valiosas para os clínicos. Este estudo representa um passo significativo em direção à implementação prática da estimativa não invasiva em tempo real da PIC, oferecendo o potencial para uma tomada de decisão clínica mais precisa, ao mesmo tempo que supera as limitações associadas às modalidades invasivas de medição da PIC. Pesquisas adicionais e validação clínica mais abrangente são necessárias para estabelecer sua utilidade clínica mais ampla.

O estudo conduzido por Shim Y, et al. (2023) oferece informações importantes sobre o monitoramento da pressão intracraniana (PIC) em pacientes com lesões cerebrais traumáticas graves (TCE). Embora não haja uma recomendação de nível I para o monitoramento da PIC, o estudo destaca que é geralmente indicado para pacientes com TCE grave que apresentam uma pontuação baixa na Escala de Coma de Glasgow (GCS) entre 3 e 8 (classe II). Além disso, sugere-se que mesmo pacientes com TCE moderado, com GCS entre 9 e 12, devem ser considerados para o monitoramento da PIC, devido ao risco de aumento da pressão intracraniana.

É relevante notar que o estudo menciona uma tendência recente em direção à redução da mortalidade precoce (classe III) em pacientes com TCE que passaram por monitoramento da PIC, destacando a importância potencial dessa prática na melhoria dos resultados clínicos. O estudo também aborda as diferentes abordagens para o monitoramento da PIC, observando que não existe um protocolo padrão estabelecido. Para casos que requerem drenagem do líquido cefalorraquidiano, o uso de dreno ventricular externo é comum, enquanto dispositivos de monitoramento de PIC parenquimatosos são frequentemente empregados em outros casos. Formas subdurais ou métodos não invasivos não são considerados apropriados para o monitoramento da PIC.

A crescente complexidade dos métodos não invasivos de medição da PIC tem dado origem a uma variedade de alternativas científicas, cada qual buscando estabelecer seu papel e relevância no cenário da monitorização da PIC. Dentre essas abordagens, destacam-se técnicas como o Índice de Pulsatilidade de Gosling e a Mensuração da Distensão Timpânica, que se esforçam para desvendar as complexidades da PIC por meio de correlações com fatores fisiológicos e anatômicos. Embora revelem um potencial promissor, essas alternativas ainda se encontram permeadas por incertezas devido às suas limitações em termos de confiabilidade e aplicabilidade clínica (conforme destacado por KIENZLER JC, et al., 2019).

Portanto, o cenário da monitorização da PIC permanece dinâmico, com diversas abordagens em desenvolvimento, cada qual com seus méritos e desafios, em busca de uma medição mais precisa e confiável da pressão intracraniana.

No entanto, a comunicação entre essas técnicas é crucial para o avanço do monitoramento da PIC. Um exemplo relevante é a análise dos índices de reatividade cerebrovascular quanto à pressão, amplitude de pulso, velocidade do fluxo sanguíneo, perfusão e autorregulação - além dos cálculos de volume arterial cerebral - que são visualizados no Ultrassom de Doppler.

O interessante é a comunicação entre elas. Tanto o PRx (índice de reatividade à pressão) quanto o PAX (índice de amplitude do pulso) são calculados durante a monitoração do PIC e utilizados para tratamento a longo prazo, e a grande vantagem é que são usados em monitoramento contínuo, seja qual for o método, diferente de outros marcadores mais precisos como Mx e Sx que só são utilizados de forma intermitente com Doppler transcraniano (CALVIELLO LA, et al., 2020).

O reflexo acústico (OA) emerge como uma luz orientadora no campo da avaliação da PIC, apresentando resultados notáveis que transcendem as restrições da calibração individualizada do paciente. Esta técnica não apenas traça um percurso rumo à precisão e acurácia, mas também proporciona uma visão audaciosa e não restritiva para a medição da PIC, mantendo um compromisso inabalável com a segurança e eficácia (KIENZLER JC, et al., 2019).

Com sua abordagem inovadora e promissora, o reflexo acústico representa um avanço significativo na busca por métodos seguros e eficazes de monitoramento da pressão intracraniana, contribuindo para um diagnóstico mais confiável e menos oneroso para os pacientes. Este estudo comparativo abordou dois distintos métodos de pontuação de propensão para avaliar a eficácia do monitoramento da PIC em comparação com pacientes não monitorados. Os resultados revelaram uma redução estatisticamente significativa na mortalidade dos pacientes monitorados, tanto na correspondência 1:1 quanto na análise ponderada por propensão.

Embora o monitoramento da PIC tenha levado a um aumento no tempo de permanência na UTI, este não exerceu influência sobre os desfechos finais. A análise de amostras emparelhadas buscou equilibrar os grupos, garantindo resultados confiáveis. Além disso, critérios específicos de inclusão foram aplicados para delinear a população-alvo (MANSOUR A, et al., 2023). Embora o estudo não tenha abordado outras intervenções, os resultados destacam os benefícios potenciais dos pacotes de cuidados que envolvem o monitoramento da PIC. A taxa de mortalidade foi menor do que a estimada para populações mais amplas, devido às exclusões criteriosas. O estudo sublinha a necessidade de uma abordagem mais assertiva para pacientes com traumatismo cranioencefálico grave, respaldada por cuidados neurocríticos e neurocirúrgicos direcionados. Ainda que estudos prévios tenham revelado resultados diversos, este estudo contribui com

evidências moderadas sobre a eficácia do monitoramento da PIC. A congruência entre os métodos de pontuação de propensão fortalece a confiança nos resultados obtidos (KIENZLER JC, et al., 2019).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a importância da monitorização da PIC em pacientes com traumatismo cranioencefálico grave e os riscos associados ao uso de técnicas de monitoramento invasivas, enfatiza-se a relevância da investigação de alternativas não invasivas como objeto de estudo científico. De acordo com a pesquisa existente, o Índice de Pressão de Perfusão Cerebral é considerado o padrão-ouro para avaliação na prática clínica. Em relação às outras técnicas analisadas neste artigo, a ultrassonografia transcraniana emerge como um método relevante a ser adotado, enquanto o Índice de Pulsatilidade de Gosling e a medição da distensão timpânica mostram-se promissores, embora ainda careçam de estudos adicionais. Por fim, a pletismografia por Infravermelho claramente não demonstra relevância para uso clínico. Portanto, é necessário realizar mais pesquisas para garantir que o emprego das diversas técnicas não invasivas disponíveis seja efetivamente seguro.

## REFERÊNCIAS

1. AIOLFI A, et al. Brain trauma foundation guidelines for intracranial pressure monitoring: compliance and effect on outcome. *World J Surg*, 2017; 41: 1543–1549.
2. BRASIL S, et al. Noninvasive intracranial pressure waveforms for estimation of intracranial hypertension and outcome prediction in acute brain-injured patients. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 2023; 37: 753-760.
3. CALVIELLO LA, et al. Validation of non-invasive cerebrovascular pressure reactivity and pulse amplitude reactivity indices in traumatic brain injury. *Acta Neurochir (Wien)*, 2020; 162(2): 337-344.
4. CHANG T, et al. Noninvasive evaluation of intracranial pressure in patients with traumatic brain injury by transcranial Doppler ultrasound. *Brain and Behavior*, 2021; 11: e2396.
5. CHESNUT RM, VIDETTA W. Situational Intracranial Pressure Management: An Argument Against a Fixed Treatment Threshold. *Crit Care Med*, 2020; 48(8): 1214-1216.
6. FISCHER JB, et al. Non-invasive estimation of intracranial pressure by diffuse optics - a proof-of-concept study. *Journal of Neurotrauma*, 2020; 37(23): 2569-2579.
7. GALOS P, et al. Capturing of intracranial pressure treatment during neurointensive care in patients with acute brain injury using a novel tablet-based method. *Journal of clinical monitoring and computing*, 2022; 36(6): 1731-1738.
8. GANSLANDT O, et al. Evaluation of a novel noninvasive ICP monitoring device in patients undergoing invasive ICP monitoring: preliminary results. *J Neurosurg*, 2018; 28: 1653-1660.
9. JAISHANKAR R, et al. A Spectral Approach to Model-Based Noninvasive Intracranial Pressure Estimation. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2020; 24(8): 2398-2406.
10. KIENZLER JC, et al. Validation of noninvasive absolute intracranial pressure measurements in traumatic brain injury and intracranial hemorrhage. *Operative Neurosurgery*, 2019; 16(2): 186-196.
11. MANSOUR A, et al. Comparative Effectiveness of Intracranial Pressure Monitoring vs No Monitoring in Severe Penetrating Brain Injury Management. *JAMA Network Open*, 2023; 6(3): e231077.
12. MLÁDEK A, et al. From head micro-motions towards CFS dynamics and non-invasive intracranial pressure monitoring. *Scientific Reports*, 2021; 11: e14349.
13. O'BRIEN NF, et al. Non-invasive estimation of cerebral perfusion pressure using transcranial Doppler ultrasonography in children with severe traumatic brain injury. *Child's Nervous System*, 2020; 36(9): 2063-2071.
14. ROBBA C, et al. Ultrasound non-invasive measurement of intracranial pressure in neurointensive care: A prospective observational study. *PLOS medicine*, 2017; 14(7): e1002356.
15. SCHIZODIMOS T, et al. An overview of management of intracranial hypertension in the intensive care unit. *Journal of Anesthesia*, 2020; 34: 741-757.
16. SHIM Y, et al. Intracranial Pressure Monitoring for Acute Brain Injured Patients: When, How, What Should We Monitor. *Korean J Neurotrauma*, 2023; 19(2): 149-161.
17. WIÓREK A, et al. Hyperosmolar Treatment for Patients at Risk for Increased Intracranial Pressure: A Single-Center Cohort Study. *Int J Environ Res Public Health*, 2020; 17(12): 4573.
18. ZHANG X, et al. Invasive and noninvasive means of measuring intracranial pressure: a review. *Physiological Measurement*, 2017; 38(8): 1-66.
19. ZHOU J, et al. Ultrasound measurements versus invasive intracranial pressure measurement method in patients with brain injury: a retrospective study. *BMC Med Imaging*, 2019; 19(1): 53.
20. ZOERLE T, et al. Accuracy of manual intracranial pressure recording compared to a computerized high-resolution system: a CENTER-TBI analysis. *Neurocritical care*, 2023; 38(3): 781-790.