

Métodos não invasivos para monitorização da pressão intracraniana: uma revisão atual

Noninvasive Tools for Intracranial Pressure Monitoring: a current review

Herramientas no invasivas para la monitorización de la presión Intracraneal:
una revisión actual

Higor Gomes Mussi¹, Bárbara Ellen Souza Rezende¹, Igor Bernardes Caciquinho¹, Lucas Camargos Silva Félix¹, Lucas de Souza Gontijo Pessoa¹, Maria Clara Froes Weinem¹, Marina Parizzi Brant Cerceau¹, João Pedro Ribeiro Santos¹, José Gabriel Vilhena de Queiroz¹, Baltazar Leão Reis².

RESUMO

Objetivo: Analisar, sob a ótica da literatura médica mais atual, as técnicas de monitorização não invasivas da pressão intracraniana. **Revisão Bibliográfica:** O manejo adequado da hipertensão intracraniana (HIC) sustentada está relacionado à redução significativa das taxas de morbi-mortalidade. Nesse sentido, a monitorização da pressão intracraniana (PIC) é fundamental. Historicamente, o método padrão ouro para monitorização da PIC envolve a instalação cirúrgica de um cateter intracraniano. Essa metodologia pode gerar complicações e exige profissionais especializados para sua instalação. Diante disso, concomitante a um melhor entendimento da fisiologia da HIC e aparato tecnológico disponível, métodos de monitorização não invasiva da PIC vêm sendo introduzidos na prática clínica. Este trabalho analisou as cinco técnicas não invasivas de monitoramento de PIC mais utilizadas atualmente: Tomografia Computadorizada (TC), Doppler Transcraniano (DTC), Diâmetro da Bainha do Nervo Óptico (DBNO), Pupilômetro e Brain4care. **Considerações finais:** O Pupilômetro e o Brain4Care se destacam como métodos promissores já em alguns ambientes hospitalares, principalmente em relação à confiabilidade dos dados e praticidade clínica. Estudos multicêntricos e com maiores amostras ainda são necessários para definir a aplicabilidade desses métodos.

Palavras-chave: Hipertensão Intracraniana, Pressão Intracraniana e LCT.

ABSTRACT

Objective: To analyze, from the perspective of current medical literature, non-invasive intracranial pressure monitoring techniques. **Bibliographic review:** Adequate adjustment of sustained intracranial hypertension (ICH) is related to a significant reduction in morbidity and mortality rates. Therefore, monitoring intracranial pressure (ICP) is essential. Historically, the standard method for monitoring ICP has involved installing our intracranial catheters. This methodology can generate complications and professional requirements for your installation. From this is available a better technological understanding, a better understanding of physiology, and an availability of non-invasive methods of measuring physiology of the physiology that has been coming into non-practical clinical practice. This ICP monitoring device is no longer used today: Transcranial Tomography (TCD), Transcranial Doppler (TCD), Diameter Computer (Pupillometer and Brain4care) and Brain4care. **Final considerations:** Pupillometer and Brain4Care stand out as promising methods in some hospital settings, especially in relation to data reliability and clinical practicality. Multicenter studies with larger samples are still methods to define the applicability of these

Keywords: Intracranial Hypertension, Intracranial Pressure and TBI.

RESUMEN

Objetivo: Analizar, desde la perspectiva de la literatura médica más actual, las técnicas no invasivas de monitorización de la presión intracraneal. **Revisión bibliográfica:** El manejo adecuado de la hipertensión intracraneal (HIC) sostenida se relaciona con una reducción significativa de las tasas de morbilidad y

¹ Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Betim – MG.

² Departamento de Cirurgia e Neurocirurgia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG.

mortalidad. En este sentido, la monitorización de la presión intracraneal (PIC) es fundamental. Históricamente, el método estándar de oro para monitorear la PIC ha consistido en la colocación quirúrgica de un catéter intracraneal. Esta metodología puede generar complicaciones y requiere de profesionales especializados para su instalación. Por lo tanto, junto con una mejor comprensión de la fisiología de la HIC y el aparato tecnológico disponible, se han introducido métodos de monitorización de la PIC no invasivos en la práctica clínica. Este estudio analizó las cinco técnicas no invasivas de monitorización de la PIC actualmente utilizadas: Tomografía Computarizada (TC), Doppler Transcraneal (TCD), Diámetro de la Vaina del Nervio Óptico (DBNO), Pupilómetro y Brain4care. **Consideraciones finales:** El Pupilometer y Brain4Care se destacan como métodos prometedores ya en algunos entornos hospitalarios, especialmente en relación con la confiabilidad de los datos y la practicidad clínica. Aún se necesitan estudios multicéntricos con muestras más grandes para definir la aplicabilidad de estos métodos.

Palabras clave: Hipertensión Intracraneal, Presión Intracraneal y TCE.

INTRODUÇÃO

A hipertensão intracraniana (HIC), definida como aumento da Pressão Intracraniana (PIC) acima de 20 mmHg que persiste por mais de 20 minutos, é um problema clínico grave, resultado de uma lesão primária do sistema nervoso central (SNC) ou de uma doença sistêmica coexistente, e consiste em uma emergência médica, devendo ser reconhecida e tratada o mais rápido possível. A elevação sustentada da PIC está associada ao Trauma Crânio Encefálico (TCE), tumores do sistema nervoso central, hidrocefalia, encefalopatia hepática, hemorragia ou ao infarto cerebral. O sucesso na abordagem da HIC depende do seu rápido reconhecimento, da devida monitorização da PIC e instituição do tratamento para redução da PIC e correção da causa subjacente (CANAC N, et al., 2020; PAPALINI EP, 2018; SCHIZODIMOS T, et al., 2020).

Nesse contexto, faz-se crucial a monitorização da pressão intracraniana (PIC), pressão dentro do crânio refletida pela pressão do líquido cefalorraquidiano (LCR), que consiste em um sinal pulsátil referido como pulso de PIC ou pressão de onda. A pressão média dentro do crânio deve ser mantida entre 7 e 15 mmHg para adultos; entre 3 e 6 mmHg em crianças e entre 1,5 e 6 mmHg em bebês a termo, a fim de evitar consequências irreparáveis para o paciente, como isquemia ou hérnia cerebral consequentes da redução da pressão de perfusão cerebral (PPC), caso a PIC persista por um intervalo longo de tempo fora das faixas descritas (CANAC N, et al., 2020).

Para que a manutenção da PIC seja possível, é necessário entender as relações de equilíbrio relacionadas, descritas na teoria de Monro-Kellie. Essa teoria descreve a relação entre o conteúdo da caixa craniana (sangue, líquido cefalorraquidiano e cérebro) e o volume do crânio, que é considerado constante. Há uma variação fisiológica desta relação entre 5 a 15 mmHg. O aumento no volume de algum dos conteúdos do interior do crânio pode levar à HIC e consequente redução da pressão de perfusão cerebral e/ou a herniação de estruturas encefálicas, o que pode ocasionar morte neuronal e evolução ao óbito (CANAC N, et al., 2020; PAPALINI EP, 2018).

A monitorização da PIC possibilita o diagnóstico precoce da HIC, que é crucial para o diagnóstico e tratamento de HIC em pacientes criticamente enfermos, evitando danos cerebrais secundários e mortalidade. Tal monitorização pode ser feita de forma invasiva ou não invasiva (nPIC). Apesar de ser considerada padrão ouro atualmente, a monitorização da PIC invasiva está relacionada a diversas complicações, e nenhum método disponível para monitorização da pressão intracraniana não invasiva conseguiu, até o momento, substituí-la (SCHIZODIMOS T, et al., 2020; GEERAERTS T, et al., 2007).

O método invasivo geralmente utilizado para monitorização de PIC é o cateter intraventricular, inserido em um dos ventrículos a partir de um orifício de trepanação, conectado a um transdutor de pressão externo. Apesar de ser considerado padrão ouro atualmente, essa técnica é associada a um considerável número de complicações e riscos, como infecção, hemorragia, obstrução, dificuldade de posicionamento, mau posicionamento, etc. Além disso, sua instalação depende de profissionais treinados e habilitados para realizar o procedimento cirúrgico. Outros métodos invasivos para controle da PIC, que também oferecem os mesmos riscos, são equipamentos subdurais e epidurais, medidas por punção lombar e monitores intraparenquimatosos (KHAN MN, et al., 2017).

Apesar dos riscos dos métodos invasivos, nenhum método de monitorização da PIC não invasiva conseguiu, até o momento, substituí-los. A PIC não invasiva pode evitar as complicações que podem surgir com os métodos invasivos, e são muito úteis em cenários de triagem pré-hospitalar e de pacientes com risco elevado para monitorização invasiva, e por isso são de grande interesse na área médica. Esse artigo visa, portanto, descrever e analisar os métodos existentes para monitorização da PIC de forma não invasiva, tais como Tomografia Computadorizada (TC), Doppler Transcraniano (DTC), Medição da Bainha do Nervo Óptico, Pupilômetro e Brain4Care.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tomografia Computadorizada

A tomografia computadorizada (TC) do cérebro pode fornecer informações qualitativas sobre a PIC, principalmente de alterações anatômicas grosseiras associadas à PIC elevada, como compressão do ventrículo lateral, desvio da linha média > 5mm, dilatação ventricular, perda da diferenciação córtico-subcortical, apagamento sulcal difuso ou de cisternas basais e herniação transtentorial ou uncal. Apesar da presença de alterações na TC sugestivas de PIC elevada ter sido utilizada para orientar o manejo desta, a maioria das escalas de avaliação de lesão cerebral foram elaboradas para fins prognósticos e não necessariamente para monitoramento da PIC (NETO MAH, et al., 2019; JALAYONDEJA T e URASYANANDANA K, 2021).

Uma TC cerebral normal na admissão em pacientes com TCE não descarta o risco de hipertensão intracraniana precoce ou possível desenvolvimento de PIC elevada, mas é possível diferenciar a PIC normal ou elevada utilizando a relação entre o volume de LCR e o volume intracraniano total determinada por TC, com acurácia preditiva positiva. Entretanto, os critérios baseados em TC têm alta especificidade, mas baixa sensibilidade e, portanto, altas taxas de falso-negativo (MORAES FM, SILVA GS, 2021).

A TC cerebral é um exame que sua visualização de estruturas depende da irradiação de raios X, a dose de radiação é a energia absorvida por unidade massa e a distribuição de dose no órgão relacionada com o nível de risco. Normalmente, o índice de radiação é determinado para controle de qualidade dos aparelhos e, não, diretamente, ao risco e/ou dose no órgão examinado.

A radiação gerada pela TC relaciona-se com uma resposta genotóxica na célula, envolvendo, principalmente, o ácido desoxirribonucleico (DNA) que pode sofrer alterações estruturais podendo ser removidas pela resposta imune, contudo, esse sistema de correção pode cursar com falhas e desenvolvimento de neoplasias a partir mudanças no genoma. Dessa forma, a TC somente pode participar da conduta caso exista pode modificar a conduta e beneficiar o paciente (JUNG R, ATALLAH AN, 2017).

Outro fator relacionado à TC, principalmente em pacientes graves e/ou em unidades de terapia intensiva (UTI), é o transporte para fora da UTI, mesmo o transporte intra hospitalar podendo ser feito com segurança, equipe adequada e monitoramento. No entanto, achados inesperados obtidos em uma TC podem alterar o manejo do paciente. A disponibilidade de um tomógrafo portátil pode levar a diagnósticos mais frequentes de patologia oculta e pode ser uma alternativa mais segura quando o risco de transporte é uma preocupação. O advento de um scanner de TC móvel e portátil tem o potencial de alterar as práticas médicas e os resultados dos pacientes, sendo o grau de doença do paciente o principal fator determinante para solicitar um exame à beira do leito (MCCUNN M, et al., 2000).

Doppler Transcraniano (DTC)

As ondas do Doppler Transcraniano (DTC) têm sido estudadas como uma técnica para a estimativa da PIC de forma não invasiva (nPIC), o que pode representar uma de suas mais úteis aplicações considerando a necessidade de monitorização contínua de pacientes com risco ou suspeita de PIC aumentada (CARDIM D, et al., 2016). Essa possibilidade decorre do fato de que a PIC aumentada, no DTC, pode afetar a forma da onda de velocidade da corrente sanguínea dos maiores vasos cerebrais. Esses vasos são submetidos a uma pressão externa (PIC) e a uma pressão interna, a pressão sanguínea arterial (PSA). Nesse âmbito, os métodos de (nPIC) baseados em DTC consistem principalmente em relações semiquantitativas aproximadas

entre a dinâmica cerebrovascular e a PIC. Estes se dividem em três categorias: (I) métodos baseados no índice de pulsatilidade (IP) derivado do DTC; (II) métodos baseados no cálculo da pressão de perfusão cerebral não invasiva (nPPC); e (III) métodos baseados em modelos matemáticos. Embora derivada do mesmo princípio, existe uma variabilidade considerável na precisão relatada desses métodos (CARDIM D, et al., 2016).

O DTC é realizado de duas maneiras principais: tradicional sem imagem ou DTC “cego” e Doppler duplex transcraniano em cores (DTCC). Apesar de não haver nenhuma recomendação formal sobre a seleção de um método sobre o outro, o DTCC está ganhando aceitação porque ele usa a mesma máquina de ultrassom e transdutor comum para cuidados intensivos gerais (ou seja, ultrassom Point-of-Care ou POCUS) (BLANCO P e ABDO-CUZA A, 2018).

Para obter acesso à circulação cerebral, uma sonda de ultrassom de baixa frequência (2 MHz em média) é colocada sobre as janelas de insonação, como a transtemporal, transforaminal, transorbital e transcervical. A janela transtemporal permite o reconhecimento de circulação cerebral anterior [a artéria carótida interna intracraniana (ACI), o sifão carotídeo, a artéria cerebral média (ACM) e a artéria cerebral anterior (ACA)], enquanto que a janela transforaminal é usada para explorar a circulação cerebral posterior [tanto a artéria vertebral intracraniana bilateralmente (VA) quanto a artéria basilar (AB)]. A janela transorbital permite a inspeção do sifão carotídeo, bem como da artéria oftálmica. Por fim, a janela transcervical permite a visualização da artéria carótida interna extracraniana. Das janelas de insonação mencionadas, a transtemporal é a mais importante na prática (BLANCO P e ABDO-CUZA A, 2018).

Ambas ACM são insonadas, após o fluxo sanguíneo ser direcionado para a sonda. O instrumento Doppler opera a 2 MHz e o ângulo e a posição da área de exposição podem ser ajustados para permitir o sinal da mais alta qualidade. Traçados bilaterais de velocidade de fluxo são registrados e os cálculos necessários são feitos para obter o IP. A principal vantagem do IP é que, por ser uma razão, ele não é afetado pelo ângulo de insonação (KHAN MN, et al., 2017).

A TC, além de ser um método não invasivo para aferição de PIC, é um equipamento barato, de fácil acesso nos hospitais, portátil e livre de radiações. Entretanto, o equipamento é operador-dependente, e a qualidade dos dados obtidos com o DTC pode ser negativamente influenciada, caso o operador não possua uma boa curva de aprendizado com o equipamento (O'BRIEN NF, et al., 2020).

É importante derivar uma equação que descreva de forma confiável a relação entre os achados de PIC e DTC. Até o momento, o IP não mostrou valores absolutos de PIC, mas apenas revela alterações na PIC. Também não há valores de corte padronizados para IP entre os estudos. No entanto, o DTC promete ser uma ferramenta promissora para o monitoramento não invasivo de PIC, porém ainda não pode substituir a monitorização invasiva da PIC (KHAN MN, et al., 2017).

Diâmetro da Bainha do Nervo Óptico

O canal óptico se localiza na asa menor do osso esfenóide e recebe o nervo óptico, que está envolto por uma bainha meníngea constituída por dura-máter, aracnóide, pia-máter e também o líquido presente no espaço subaracnóideo, refletindo a PIC. Devido à relação anatômica do nervo óptico com todo o espaço subaracnóideo cerebral, um aumento da pressão intracraniana resulta na distensão da bainha e há, conseqüentemente, um aumento na sua espessura, e por isso o diâmetro da bainha do nervo óptico traduz diretamente a pressão intracraniana. Essa técnica tornou-se, recentemente, difundida em emergências pediátricas e ambientes de cuidados intensivos, representando parte importante do exame físico (PAPALINI EP, 2018; CANNATA G, et al., 2022).

A técnica da mensuração da bainha do nervo óptico é feita através da ultrassonografia com a colocação de uma sonda nos olhos, com a pálpebra fechada e a aplicação de gel. O transdutor passa pela margem superior e lateral da órbita, dirigida inferiormente e medialmente. Para a medição é traçada uma linha vertical na junção entre o nervo óptico e o globo ocular. Esta linha serve como referência e deve ter 3 mm de comprimento. Após isso, é traçada uma linha horizontal através do nervo. Esta segunda linha fornece a medida da bainha do nervo óptico em mm (PAPALINI EP, 2018).

Diferente do método convencional, essa técnica constitui um exame de baixo custo, rápido, não invasivo, preconizado para o médico não especialista, com boa acurácia, sem a presença de radiação ionizante e pode ser realizado a beira leito - uma grande vantagem para pacientes com incapacidades de locomoção. Nessa perspectiva, sendo considerado um exame extremamente promissor e eficiente para pacientes neuro críticos. Entretanto, é um método que depende da habilidade do operador e há um relativo despreparo da população médica emergencista e intensivista diante da utilização dessa ferramenta. Além disso, ainda não há valores de referência em relação ao tamanho do nervo óptico para o diagnóstico de HIC, apesar de que vários autores já demonstraram que o valor de corte para essa patologia varia acima de 5 a 5,7mm (PAPALINI EP, 2018).

Pupilômetro

O pupilômetro é um escâner óptico portátil, não invasivo, que fornece medidas confiáveis e objetivas do tamanho e reatividade da pupila, incluindo tamanho máximo e mínimo, velocidade de constrição, simetria, latência e Índice Neurológico Pupilar (NPI) de ambos os olhos, ao estimular a constrição pupilar com um flash luminoso enquanto a câmera infravermelha realiza uma captura em alta velocidade de uma série de imagens em diferentes períodos (OLSON DWM, et al., 2016). Sabe-se que alterações no tamanho da pupila e no reflexo fotomotor são consideradas indicadores precoces de alterações neurológicas, sendo considerados parte crítica do exame neurológico (HICKEY JV e STRAYER A, 2020).

Diferentes vias neuroanatômicas estão envolvidas no controle da pupila, e a integridade e funcionalidade dessas vias neurológicas muitas vezes podem ser verificadas através da análise e interpretação do comportamento pupilar. A disposição anatômica das estruturas relacionadas ao reflexo fotomotor, principalmente o núcleo de Edinger-Westphal e o nervo oculomotor, são clinicamente sensíveis às alterações na pressão intracraniana, em geral refletindo em um reflexo fotomotor deprimido ou anisocoria. Esse sinal clínico é de extrema importância principalmente para prever o início de uma herniação transtentorial descendente e compressão do tronco encefálico, consequentemente auxiliando na tomada de decisão por parte da equipe assistencial (CHEN JW, et al., 2011).

Nesse sentido, tendo em vista a importância da mensuração mais objetiva dos parâmetros pupilares, passou-se a realizar uma série de ensaios clínicos com a pupilometria automatizada, a qual foi comprovadamente um dispositivo que devido a sua grande sensibilidade em mensurar variações pupilométricas de até 0.01 mm, foi considerado um dispositivo que visa reduzir o viés do observador e fornecer informações de alta significância para predição de patologias intracranianas de uma maneira consideravelmente mais objetiva (COURET D, et al., 2016; OLSON DWM, et al., 2016; MCNETT M, et al., 2018).

O dispositivo quantifica a reatividade pupilar em uma escala numérica (de 0 a 4,9), e elabora um Índice Neurológico Pupilar (NPI) que permite interpretação e classificação rigorosas da resposta pupilar. O Pupilômetro juntamente com a Escala de Avaliação de Reatividade Pupilar fornece objetividade na medição, comparando o reflexo fotomotor do paciente com dados normativos do NPI. Ao fazer a derivação automática, o aparelho verifica se o reflexo pupilar se enquadra na faixa normal (>3), anormal/identificada (<3) ou como "atípica", "imensurável" ou "não reativa" (0) (CHEN JW, et al., 2011; OLSON DWM, et al., 2016).

Juntamente com as primeiras associações entre o NPI e a pressão intracraniana, em um artigo publicado por Jeff W. Chen, et al., foi observado, em uma análise pupilométrica de 134 pacientes considerados neurocríticos em 8 unidades de terapia intensiva diferentes, que em média, a primeira evidência de anormalidade pupilar ocorria 15,9 horas antes do pico da pressão intracraniana. Além disso, em uma pesquisa recente realizada por Sanjay V. Neerukonda, et al., apresentado no AANN Neuro APP Course de 2022, foi constatado que mesmo que os valores isolados do NPI estejam normais, diferenças no NPI entre os olhos direito e esquerdo ≥ 0.7 também são indicativos precoces de declínio neurológico (CHEN JW, et al., 2011; NEERUKONDA SV, et al., 2022).

Segundo Olson DWM, et al. (2016) essa consideração é um potencial divisor de águas já que não é preciso mais esperar até que o paciente se apresente com um escore anormal (NPI <3) para sabermos que ele está caminhando na direção errada, permitindo assim uma intervenção precoce da equipe assistencial. Além disso,

é um dispositivo que se torna útil para uma avaliação neurológica mais sensível: disponibilizando dados altamente significativos em patologias que acometem o lobo temporal - cuja monitorização invasiva por vezes é insensível; auxiliando na análise de pacientes sedados ou paralisados - especificamente se a monitorização intracraniana ainda não tiver sido instalada; e para confirmação de morte encefálica (LARSON MD e BEHREND M, 2015; MARSHALL LF, et al., 1983; MCNETT, et al., 2018).

Por fim, vale salientar que o pupilômetro não é uma ferramenta que permite uma monitorização contínua da pressão intracraniana, o que acaba automaticamente dependendo de uma rotina periódica de monitorização de dados ao longo do tempo de admissão, e, apesar de haver vários estudos que demonstram uma relação entre os índices pupilares e a PIC, ainda não há correlações diretas entre o NPi e os valores reais da pressão intracraniana (OLSON DWM, et al., 2016).

Brain4care

O dispositivo não invasivo de medida da PIC Brain4care baseia-se nas alterações volumétricas que a estrutura óssea craniana sofre em decorrência das variações de PIC (RICKLI C, et al., 2021). O desenvolvimento dessa técnica só foi possível a partir do questionamento da doutrina de Monro-Kellie, que afirma que a soma dos volumes intracranianos de LCR, sangue e parênquima cerebral seria constante e, portanto, o aumento de um deles geraria a redução dos outros de forma compensatória, conforme mencionado inicialmente. Além disso, a doutrina defendia que, após o fechamento das fontanelas, o volume craniano não sofreria mais alterações. Portanto, a descoberta de deformidades do crânio devido ao aumento da PIC colocou em xeque os preceitos de Monro-Kellie e foi essencial para a elaboração do Brain4care (FOLCHINI CM, et al., 2022).

Para realizar o monitoramento da PIC através do Brain4care, é colocada uma faixa acoplada a um extensômetro mecânico ao redor dos ossos cranianos, geralmente na região parietal, lateralmente à sutura sagital, podendo também ser utilizado em outros ossos, como o occipital (PARAGUASSU G, et al., 2021). Esse dispositivo age como um sensor que detecta deformações micrométricas dos ossos cranianos, com sensibilidade para movimentos menores que 0,2 micrômetros (BRASIL S, et al., 2021), que irá filtrar, amplificar e digitalizar o sinal captado pelo sensor e enviá-lo para um computador. A partir desse processo, é gerado um relatório que apresenta a forma de onda da PIC (RICKLI C, et al., 2021).

A forma de onda da PIC é uma onda de pressão arterial com três picos distintos: P1, P2 e P3. P1 é o resultado da transmissão da pressão pelo plexo coróide, P2 representa a complacência cerebral e P3 é resultante do fechamento da valva aórtica. Em condições normais, a amplitude dos picos deve seguir a ordem $P1 > P2 > P3$, mas, no aumento da PIC, a complacência cerebral diminui e o componente P2 excede P1 (RICKLI C, et al., 2021). Portanto, apesar de o Brain4care não exibir valores absolutos de PIC, a observação da forma de onda permite observar a relação entre as amplitudes de P2/P1 (PARAGUASSU G, et al., 2021), que avalia a complacência cerebral. Se a razão de amplitudes P2/P1 for menor que 1, temos PIC normal, se for maior que 1, temos PIC aumentada (RICKLI C, et al., 2021). É importante ressaltar que a média da complacência não equivale à PIC, mas a complacência contínua fornecida pelo Brain4care é confiável para a medida da PIC (BRASIL S, et al., 2021).

A utilização desse método é promissora, uma vez que permite a monitorização da PIC sem expor o paciente aos riscos de um procedimento invasivo, como hemorragias e infecções (PARAGUASSU G, et al., 2021), e não exige a presença de um neurocirurgião para sua colocação (RABELO NN, et al., 2021).

Além disso, o método não é observador dependente, uma vez que a análise de dados expostos em ondas numéricas se dá de forma clara e objetiva (PARAGUASSU G, et al., 2021), e os laudos podem ser acessados em qualquer lugar. Por fim, essa seria uma alternativa para a monitorização da PIC em locais que não contam com recursos para a realização do procedimento invasivo preconizado atualmente (BRASIL S, et al., 2021).

Com relação a suas limitações, uma das principais é a necessidade de cooperação no caso de pacientes acordados, pois em caso de agitação, o sensor pode não manter contato ideal com a pele craniana. Outros pontos a serem considerados são a inadequação do método para recém-nascidos prematuros, devido ao

tamanho reduzido do crânio, e a necessidade de reposicionamento do aparelho a cada hora a fim de evitar eritema na região de contato (BRASIL S, et al., 2021).

Por fim, o principal ponto a ser ressaltado sobre a aplicabilidade do Brain4care é que, apesar de haver estudos com resultados positivos quanto à validade do método frente à técnica invasiva (padrão-ouro) (BRASIL S, et al., 2021; CABELLA B, et al., 2016; FRIGIERI G, et al., 2021; MORAES FM, et al., 2022), são necessários mais ensaios clínicos de classe A com amostras maiores e metodologia padronizada, a fim de confirmar a confiabilidade da técnica e de responder questões ainda não esclarecidas devido à limitação dos estudos existentes, como a interferência de deformidades e fraturas cranianas sobre o resultado do método e o impacto da forma de onda da PIC no desfecho dos pacientes (BRASIL S, et al., 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o padrão ouro para medida da PIC ainda seja o cateter intraventricular, os métodos não invasivos de monitorização da PIC têm ganhado bastante destaque. A TC apesar de não ser utilizada diretamente para análise da PIC, pode fornecer achados anatômicos fundamentais. O DTC e a análise do DBNO são mais eficazes em cenários de emergência, por serem portáteis e disponíveis, mas são examinador-dependentes. Em contrapartida, o Pupilômetro e Brain4care são os métodos com medidas mais objetivas e aplicáveis, minimizando vieses relacionados ao examinador. Apesar de ainda não estarem bem definidos, apresentam-se promissores em obter valores equiparáveis a aferição real da PIC. Além disso, vale salientar que o Brain4Care, em relação aos outros, conta com o advento de ser o dispositivo mais favorável à monitorização contínua. Nesse contexto, conclui-se que as ferramentas de monitoramento não invasivo da PIC permitem a redução dos riscos e complicações associadas ao monitoramento invasivo, mas estudos multicêntricos e com maiores amostras ainda são necessários para comprovar a confiabilidade desses métodos.

AGRADECIMENTOS E FINANCIAMENTO

Gostaríamos de agradecer ao Diretório Acadêmico Horizontal Medicina PUC Minas (DAHMP), que fomentou a escrita científica dentro da Liga Acadêmica de Neurociências da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (LANEURO), da qual fazemos parte, possibilitando o incentivo a confecção deste artigo.

REFERÊNCIAS

1. BRASIL S, et al. A Novel Noninvasive Technique for Intracranial Pressure Waveform Monitoring in Critical Care. *Journal Of Personalized Medicine*, 2021, 11: 1302-1316.
2. BLANCO P, ABDO-CUZA A. Transcranial Doppler ultrasound in neurocritical care. *Journal of Ultrasound*, 2018; 21:1–16.
3. CABELLA B, et al. Validation of a New Noninvasive Intracranial Pressure Monitoring Method by Direct Comparison with an Invasive Technique. *Acta Neurochirurgica Supplement*, 2016; 122: 93-96.
4. CANAC N, et al. Review: pathophysiology of intracranial hypertension and noninvasive intracranial pressure monitoring. *Fluids Barriers CNS*, 2020; 17:40-61.
5. CARDIM D, et al. Non-invasive Monitoring of Intracranial Pressure Using Transcranial Doppler Ultrasonography: Is It Possible? *Neurocrit Care*, 2016; 25:473–491.
6. CANNATA G, et al. Optic Nerve Sheath Diameter Ultrasound: A Non-Invasive Approach to Evaluate Increased Intracranial Pressure in Critically Ill Pediatric Patients. *Diagnostics (Basel)*, 2022; 12(3):767-784.
7. CHEN JW, et al. Pupillary reactivity as an early indicator of increased intracranial pressure: The introduction of the Neurological Pupil index. *Surg Neurol Int*, 2011; 2:82-89.
8. COURET D, et al. Reliability of standard pupillometry practice in neurocritical care: an observational, double-blinded study. *Crit Care*. 2016; 20:99-108.
9. FOLCHINI CM, et al. From disease to noninvasive intracranial monitoring. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 2022; 80: 539-542.
10. FRIGIERI G, et al. Analysis of a Non-invasive Intracranial Pressure Monitoring Method in Patients with Traumatic Brain Injury. *Acta Neurochirurgica Supplement*, 2018, 126: 107-110.

11. GEERAERSTS T, et al. Ultrasonography of the optic nerve sheath may be useful for detecting raised intracranial pressure after severe brain injury. *Intensive Care Med*, 2007; 33: 1704-1711.
12. HICKEY JV, STRAYER A. *The Clinical Practice of Neurological and Neurosurgical Nursing*. Eighth edition. Wolters Kluwer, 2020; 168-170.
13. JALAYONDEJA T, URASYANANDANA K. Correlations between optic nerve sheath diameters measured using computed tomography and elevated intracranial pressure levels, 2021; 26:101328-31.
14. JUNG R, ATALLAH AN. Tomografia computadorizada e risco de neoplasias. *Diagn Tratamento*, 2017; 22(2):57-62
15. KHAN M, et al. Noninvasive monitoring intracranial pressure - A review of available modalities. *Surg Neurol Int*, 2017; 8:51-62.
16. LARSON MD, BEHRENDIS M. Portable infrared pupillometry: a review. *Anesth Analg*, 2015; 120(6):1242-53.
17. MARSHALL LF, et al. The oval pupil: Clinical significance and relationship to intracranial hypertension. *J Neurosurg*, 1983; 58(4):566-8.
18. MCCUNN M, et al. Physician utilization of a portable computed tomography scanner in the intensive care unit. *Crit Care Med*, 2000; 28(12):3808-13.
19. MCNETT M, et al. Pupillometry Trends in the Setting of Increased Intracranial Pressure. *J Neurosci Nurs*, 2018; 50(6):357-361.
20. MORAES FM, et al. Waveform Morphology as a Surrogate for ICP Monitoring: a comparison between an invasive and a noninvasive method. *Neurocritical Care*, 2022, 37: 219-227.
21. MORAES FM, SILVA GS. Noninvasive intracranial pressure monitoring methods: a critical review. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 2021; 79(5): 437-446.
22. NEERUKONDA SV, et al. Differences in left and right pupillary function is a prognostic of neurological deterioration. *Neuroscience Advanced Practice Provider Educational Conference (Neuro-APP) Conference*. San Diego, CA, January 5-8, 2022.
23. NETO MAH, et al. Monitoração Invasiva Versus Não Invasiva da Pressão Intracraniana no Traumatismo Cranioencefálico Marshall III, 2019; 30(2):158-62.
24. OLSON DWM, et al. Interrater Reliability of Pupillary Assessments. *Neurocrit Care*, 2016; 24(2): 251-7.
25. 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; 36:2063-2071.
26. PAPALINI EP. Optic nerve: measure the diameter of its sheath to detect intracranial hypertension. *Rev Bras Oftalmol*, 2018; 77(2): 68-71.
27. PARAGUASSU G, et al. Case Report: untreatable headache in a child with ventriculoperitoneal shunt managed by use of new non-invasive intracranial pressure waveform. *Frontiers In Neuroscience*, 2021; 15: 1-4.
28. RABELO NN, et al. Is It Possible to Monitor the Wave Form with Noninvasive Methods?. *World Neurosurgery*, 2021; 152: 231-232.
29. RICKLI C, et al. Use of non-invasive intracranial pressure pulse waveform to monitor patients with End-Stage Renal Disease (ESRD). *Plos One*, 2021; 16: 1-11.
30. SCHIZODIMOS T, et al. An overview of management of intracranial hypertension in the intensive care unit. *J Anesth*, 2020; 34: 741-757.