

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Medicina
Programa de Pós-graduação em Ciências Aplicadas à Cirurgia e à
Oftalmologia

Felipe Mendes Ferreira

AVALIAÇÃO ULTRASSONOGRÁFICA DO DIÂMETRO DA
BAINHA DO NERVO ÓPTICO DE PACIENTES COM TRAUMATISMO
CRANIOENCEFÁLICO GRAVE E SUA CORRELAÇÃO COM
TÉCNICA INVASIVA

Belo Horizonte – MG

2020

Felipe Mendes Ferreira

**AVALIAÇÃO ULTRASSONOGRÁFICA DO DIÂMETRO DA
BAINHA DO NERVO ÓPTICO DE PACIENTES COM TRAUMATISMO
CRANIOENCEFÁLICO GRAVE E SUA CORRELAÇÃO COM
TÉCNICA INVASIVA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Aplicadas à Cirurgia e à Oftalmologia da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Medicina.

Área de concentração: Correlação entre imagem, morfologia e fisiopatologia cirúrgicas.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Varella Giannetti.

Belo Horizonte – MG
Faculdade de Medicina – UFMG

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

- F383a
2020
- Ferreira, Felipe Mendes
Avaliação ultrassonográfica do diâmetro da bainha do nervo óptico de pacientes com traumatismo cranioencefálico grave e sua correlação com técnica invasiva. Felipe Mendes Ferreira. Belo Horizonte, 2020.
52f. : il.
- Orientador: Alexandre Varella Giannetti.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Ciências Aplicadas à Cirurgia e à Oftalmologia.
Inclui bibliografia.
1. Lesões encefálicas traumáticas. 2. Pressão intracraniana. 3. Hipertensão intracraniana. 4. Nervo óptico. 5. Avaliação sonográfica focada no trauma. I. Título. II. Giannetti, Alexandre Varella. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em Ciências Aplicadas à Cirurgia e à Oftalmologia.

NLM:WL 354



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE MEDICINA
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS APLICADAS À CIRURGIA E À OFTALMOLOGIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO ULTRASSONOGRÁFICA DO DIÂMETRO DA BAINHA DO NERVO ÓPTICO DE PACIENTES COM TRAUMATISMO CRANIOENCEFÁLICO GRAVE E SUA CORRELAÇÃO COM TÉCNICAS INVASIVAS

FELIPE MENDES FERREIRA

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **dezoito de setembro de dois mil e vinte**, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS APLICADAS À CIRURGIA E À OFTALMOLOGIA da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

WELLINGSON SILVA PAIVA

USP

BRENO TEIXEIRA LINO

UFMG

ALEXANDRE VARELLA GIANNETTI - Orientador

UFMG

Belo Horizonte, 18 de setembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Breno Teixeira Lino, Médico**, em 18/09/2020, às 12:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Varella Giannetti, Professor do Magistério Superior**, em 18/09/2020, às 12:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Wellingson Silva Paiva, Usuário Externo**, em 01/12/2020, às 08:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0259277** e o código CRC **873BBE61**.

AUTORIDADES

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Reitora: Prof^a. Sandra Regina Goulart Almeida

Vice-Reitor: Prof. Alessandro Fernandes Moreira

Pró-Reitor de Pós-graduação: Prof. Fábio Alves da Silva Júnior

FACULDADE DE MEDICINA

Diretor: Prof. Humberto José Alves

Vice-Diretora: Prof^a. Alamanda Kfoury Pereira

Coordenador Geral do Centro de Pós-graduação: Prof. Tarcizo Afonso Nunes

DEPARTAMENTO DE CIRURGIA

Chefe: Prof. Marco Antônio Gonçalves Rodrigues

COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS APLICADAS
À CIRURGIA E À OFTALMOLOGIA

Coordenadora: Prof^a. Vivian Resende

Subcoordenador: Prof. Túlio Pinho Navarro

Membros:

Prof. Sebastião Cronemberger Sobrinho

Prof. Marcio Bittar Nehemy

Prof. Marco Antônio Percope

Artur William Caldeira Abreu Veloso (Representante discente)

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Alexandre Varella Giannetti, pela presença, incentivo e disciplina, contribuindo muito na aplicação prática de nossas ideias iniciais.

Ao Doutor Breno Teixeira Lino, chefe do setor de ecografia ocular do Hospital São Geraldo da Universidade Federal de Minas Gerais, pela disponibilidade, esforço e paciência no meu treinamento para realização das medidas ultrassonográficas da bainha do nervo óptico.

Ao Mestre Rodrigo Moreira Faleiro, preceptor, amigo e exemplo de entrega dentro da neurocirurgia, pelo entusiasmo, suporte e ideias criativas que contribuíram muito para a execução deste projeto.

Aos colegas de residência médica, Aieska Kellen Dantas dos Santos e Vitor Vieira de Souza Moraes, pelo auxílio e organização na coleta de dados da pesquisa.

Aos meus pais, Fábio e Helenice, por todo o esforço em me oferecer uma educação e formação de qualidade, sempre com muito amor, permitindo minha chegada até aqui.

À minha noiva, Paula, parceira de profissão e de vida, por continuamente se esforçar, com cuidado e carinho, em deixar nossa trajetória mais leve e alegre, e pela compreensão dos meus momentos de ausência.

RESUMO

Introdução: o aumento da pressão intracraniana (PIC) pode deteriorar as condições clínicas de pacientes vítimas de traumatismo cranioencefálico (TCE) grave, sendo que a identificação e o tratamento precoce desse aumento são considerados modificadores de morbidade e de mortalidade. Entre as técnicas descritas para estimar a PIC, uma tem se destacado por, além de ser não invasiva, poder ser realizada facilmente à beira do leito: a avaliação ultrassonográfica do diâmetro da bainha do nervo óptico (BNOP). **Método:** em 40 pacientes vítimas de TCE grave, admitidos em hospital de trauma nível I, submetidos ao implante de cateter intraparenquimatoso, sedados e em uso de ventilação mecânica, após consentimento de seus responsáveis, foram realizadas medidas ultrassonográficas da BNOP e comparadas simultaneamente com a medição invasiva da PIC, com o objetivo de se avaliar a associação entre as duas técnicas e de se determinar o valor de referência do diâmetro da BNOP para a população estudada. Foram excluídos do trabalho os pacientes com idade inferior a 18 anos, vítimas de traumatismo craniano penetrante ou traumas oculares diretos. **Resultados:** foram realizadas 53 medidas ultrassonográficas da BNOP nos 40 pacientes do estudo; 44 medidas (83%) foram realizadas em pacientes com PIC < 20 mmHg e nove (17%) em pacientes com PIC \geq 20 mmHg. O valor médio do diâmetro da BNOP no grupo com PIC < 20 mmHg foi $5,4 \text{ mm} \pm 1,0$, e no grupo com PIC \geq 20 mmHg, $6,4 \text{ mm} \pm 0,7$ ($p = 0,0026$). Não houve diferença estatisticamente significativa entre as medidas da BNOP realizadas nos olhos direito e esquerdo do mesmo paciente. Foi demonstrada uma correlação positiva e estatisticamente significativa entre a medida ultrassonográfica da BNOP e a medição invasiva da PIC, sendo que, por meio da análise da curva ROC, o melhor ponto de corte encontrado foi 6,18 mm, medida que confere 77,8% de sensibilidade e 81,8% de especificidade na identificação da PIC \geq 20 mmHg. **Conclusão:** este estudo parece ser pioneiro no Brasil a avaliar de forma comparativa a medida ultrassonográfica da BNOP com a medição invasiva da PIC, além de ter a maior amostra identificada na literatura composta exclusivamente por pacientes vítimas de TCE grave e submetidos à medição simultânea invasiva da PIC. Conclui-se que há uma correlação positiva entre a medida do diâmetro da BNOP e a medição invasiva da PIC, com ponto de corte definido em 6,18 mm. O objetivo desta validação não substitui a técnica invasiva, mas demonstra que a técnica ultrassonográfica pode ser uma ferramenta complementar de grande utilidade no cuidado do paciente vítima de TCE, principalmente quando não há disponibilidade de exames de imagem, equipamentos ou equipe neurocirúrgica.

Palavras-chave: Lesões Encefálicas Traumáticas. Pressão Intracraniana. Hipertensão Intracraniana. Nervo Óptico. Avaliação Sonográfica Focada No Trauma.

ABSTRACT

Introduction: increased intracranial pressure (ICP) may deteriorate the clinical conditions of traumatic brain injury (TBI) patients. For this reason, its identification and prompt treatment could modify morbidity and mortality in these set of patients. Among several described techniques to estimate intracranial pressure, one has emerged as non-invasive and easily performed at bedside: ultrasonographic measurement of optic nerve sheath diameter (ONSD). **Method:** 40 severe TBI patients were included and they were admitted to a level I trauma hospital. They were underwent intraparenchymal device placement, sedated and on mechanical ventilation. After a family member have signed informed consent, ultrasonographic measurement of ONSD was performed and compared with intracranial pressure invasive measurement in order to evaluate association between them and determine a threshold value. People under eighteen years old, penetrating TBI and direct ocular trauma were excluded from this study. **Results:** 53 ONSD measurements were performed in all patients; 44 measurements (83%) were in patients whose intracranial pressure was < 20 mmHg and nine measurements (17%) in those whose intracranial pressure was ≥ 20 mmHg. ONSD mean value of the group with intracranial pressure < 20 mmHg was $5.4 \text{ mm} \pm 1.0$ and while that of the group with intracranial pressure ≥ 20 mmHg was $6.4 \text{ mm} \pm 0.7$ ($p = 0.0026$). There was not statistically significant difference between left and right eyes measurements. Positive and statistically significant correlation was noted between ultrasonographic measurement of ONSD and invasive measurement. On the statistical analysis of ROC curve, the best cut-off was 6.18 mm, with a 77.8% sensitivity and 81.8% specificity. **Conclusion:** this was the first study in Brazil to evaluate the ONSD measurement in a quantitative analysis and the study with largest sample with severe TBI patients only underwent intracranial pressure invasive measurement already published. From this article, it is possible to conclude a positive correlation between ultrasonographic measurement of ONSD and intracranial pressure invasive measurement with a threshold of 6.18 mm. This validation does not intend to replace the invasive technique, however it demonstrates that this non-invasive technique might be a complementary tool in the neurocritical care when there are not available scans, medical supplies or neurosurgical team.

Keywords: Brain Injuries, Traumatic. Intracranial Pressure. Intracranial Hypertension. Optic Nerve. Focused Assessment With Sonography For Trauma.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

Figura 1: Imagem da USG da BNOP	25
Figura 2: Imagem da USG da BNOP de paciente do estudo com PIC elevada	26
Figura 3: Ilustração do caso discutido	42

Tabelas

Tabela 1: Classificação tomográfica da lesão cerebral difusa	23
Tabela 2: Frequência de classificação tomográfica da lesão cerebral difusa de acordo com Marshall	29
Tabela 3: Medidas descritivas das medições invasivas da PIC e ultrassonográficas da BNOP	29
Tabela 4: Valores médios da BNOP nos grupos sem HIC (PIC < 20 mmHg) e com HIC (PIC ≥ 20 mmHg)	30
Tabela 5: Análise da curva ROC da medida ultrassonográfica da BNOP na detecção de casos de HIC (PIC ≥ 20 mmHg)	31
Tabela 6: Resumo das principais publicações que utilizaram técnicas invasivas como referência de determinação da PIC	40

Gráficos

Gráfico 1: Gráfico <i>bloxpot</i> da média da BNOP nos grupos sem HIC (PIC < 20 mmHg) e com HIC (PIC ≥ 20 mmHg) (p = 0,0026)	30
Gráfico 2: Correlação entre as medições invasivas da PIC e as medidas ultrassonográficas da BNOP	31
Gráfico 3: Curva ROC para BNOP na detecção de HIC (PIC ≥ 20 mmHg)	32

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AUC	Área sob a curva (<i>area under curve</i>)
BNOP	Bainha do nervo óptico
CTI	Centro de terapia intensiva
FHEMIG	Fundação Hospitalar do Estado de Minas Gerais
FSC	Fluxo sanguíneo cerebral
HIC	Hipertensão intracraniana
LCR	Líquido cefalorraquidiano
OD	Olho direito
OE	Olho esquerdo
PAM	Pressão arterial média
PIC	Pressão intracraniana
PPC	Pressão de perfusão cerebral
RM	Ressonância magnética
ROC	<i>Receiver operating curve</i>
TC	Tomografia computadorizada
TCE	Traumatismo cranioencefálico
USG	Ultrassonografia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	JUSTIFICATIVA	11
3	OBJETIVOS	12
3.1	Objetivo geral	12
3.2	Objetivos específicos	12
4	REVISÃO DE LITERATURA	13
4.1	Traumatismo cranioencefálico	13
4.2	Hipertensão intracraniana	13
4.3	Métodos de avaliação da PIC	14
4.3.1	<i>Técnicas invasivas</i>	15
4.3.2	<i>Métodos de imagem</i>	16
4.4	Nervo óptico	16
4.5	Avaliação ultrassonográfica da BNOP	17
4.6	USG da BNOP com valores de PIC baseados em métodos de imagem	19
4.7	USG da BNOP com valores de PIC baseados em técnicas invasivas	20
4.8	USG da BNOP com valores de PIC obtidos por punção lombar	20
4.9	Variação do diâmetro da BNOP por diferentes técnicas de imagem, em diferentes populações	21
5	MATERIAIS E MÉTODOS	22
5.1	Tipo de estudo	22
5.2	Local do estudo	22
5.3	População e amostra do estudo	22
5.4	Critérios de inclusão	23
5.5	Critérios de não inclusão	24
5.6	Instrumentos	24
5.7	Critérios de análise	26
6	RESULTADOS	28
7	DISCUSSÃO	33
8	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46
	APÊNDICE	51

1 INTRODUÇÃO

O aumento da pressão intracraniana (PIC) pode deteriorar as condições clínicas dos pacientes e prejudicar o prognóstico em lesões neurológicas agudas, principalmente em vítimas de traumatismo cranioencefálico (TCE). Dessa forma, a identificação e o tratamento rápido e precoce dessa condição podem reduzir a morbidade e a mortalidade nesse grupo de pacientes¹.

Existem várias técnicas para se estimar a PIC, desde o exame clínico com a avaliação oftalmoscópica direta, tomografia computadorizada (TC) de crânio, até técnicas invasivas, como o implante de cateter intraparenquimatoso e a ventriculostomia, esta considerada padrão-ouro. No entanto, muitas vezes, as condições clínicas dos pacientes não permitem deslocamento rápido para a realização de TC de crânio ou não há disponibilidade de equipe e/ou material para realizar os métodos invasivos.

Uma nova modalidade descrita tem sido a avaliação ultrassonográfica da bainha do nervo óptico (BNOP), pela medida do diâmetro dural-dural, com a facilidade de ser executada à beira do leito e de forma não invasiva².

O nervo óptico é uma estrutura anatômica envolvida por uma bainha formada pelas meninges, possuindo relação direta com o sistema liquórico. Com o aumento da PIC secundário a eventos agudos, como TCE e acidentes cerebrovasculares, o líquido cefalorraquidiano (LCR) se represa no espaço subaracnoideo, acarretando uma distensão da BNOP. Esse aumento do diâmetro da BNOP é evidenciado e mensurado pela ultrassonografia (USG) por meio tanto da abordagem transocular quanto transpalpebral, sendo esta última rotineiramente mais utilizada em função do conforto do paciente³.

2 JUSTIFICATIVA

Os estudos disponíveis relacionados ao uso da USG da BNOP na avaliação da hipertensão intracraniana (HIC) são relativamente novos e em pequeno número². Ainda não há um consenso na literatura quanto aos parâmetros do diâmetro da BNOP considerados alterados na HIC⁴. Além disso, populações diferentes apresentam variações próprias^{1,2}. Considerando tais aspectos, e tendo em vista a relevância do tema, o presente estudo avalia o diâmetro da BNOP em pacientes vítimas de TCE grave, em ambiente de cuidados intensivos, procurando aditar conhecimento à matéria.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Este estudo visa trazer mais informações sobre o emprego da USG da BNOP em pacientes vítimas de TCE grave com quadro de HIC, buscando a sua validação, tendo como base a medição invasiva da PIC por meio de cateter intraparenquimatoso.

3.2 Objetivos específicos

- Comparar o valor do diâmetro da BNOP à USG com padrões de TC de crânio (segundo a classificação de Marshall);
- Comparar o valor da PIC medida pelo cateter intraparenquimatoso ao do diâmetro da BNOP;
- Determinar o valor de referência do diâmetro da BNOP para a população estudada, buscando-se definir um valor de corte na associação entre esse diâmetro e a presença de HIC.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Traumatismo cranioencefálico

Atualmente, nos países ocidentais, o trauma constitui a primeira causa de morte entre adultos jovens, sendo a terceira causa na população em geral. O TCE é responsável por cerca de 50% dos óbitos de pacientes vítimas de trauma. Nos Estados Unidos, um TCE ocorre a cada sete segundos, e, com morte em decorrência deste, a cada cinco minutos⁵.

No Brasil, o trauma é um problema de saúde pública. Estima-se que, a cada ano, são registrados mais de um milhão de acidentes, matando cerca de 40 mil pessoas e deixando outras 370 mil com sequelas. As causas externas não intencionais com maior número de óbitos são os acidentes de trânsito⁵.

O TCE pode ser definido como qualquer lesão que envolva não somente o encéfalo, como inicialmente se imagina, mas também os seus envoltórios, os nervos cranianos, a calota craniana e o couro cabeludo.

Existem várias classificações para o TCE, a saber: penetrante ou fechado; com lesões focais ou difusas; por mecanismo de contato ou de aceleração⁵. Porém, mostra-se mais relevante, do ponto de vista clínico, enfatizar a divisão entre lesões primárias e secundárias. A lesão cerebral primária ocorre de imediato no momento do trauma, sendo representada por contusões, lacerações, lesão axonal difusa, entre outras. As lesões secundárias são também decorrentes do acidente traumático, porém, só se tornam evidentes algum tempo depois. Tais lesões são representadas por hemorragias, tumefação cerebral, HIC, lesão hipóxica, entre outras. Para essas lesões secundárias, o médico assistente tem a possibilidade de realizar intervenções para tentar melhorar o resultado clínico final do paciente, sendo o controle da HIC uma etapa crucial.

4.2 Hipertensão intracraniana

Os constituintes intracranianos normais são: o parênquima cerebral, com volume em torno de 1.400 ml; o volume sanguíneo cerebral, com aproximadamente

150 ml; e o LCR, também com aproximadamente 150 ml. Eles estão contidos dentro de um recipiente inelástico e completamente fechado representado pelo crânio⁶.

A doutrina de Monro-Kellie modificada afirma que a soma dos volumes dos constituintes intracranianos é constante e que um aumento em qualquer um desses deve ser compensado por uma redução equivalente nos outros. Assim sendo, à medida que uma lesão parenquimatosa secundária a um TCE aumenta, o LCR pode se desviar dos espaços liquóricos (ventrículos, cisternas e sulcos), assim como o sangue venoso também pode se desviar para fora do compartimento intracraniano. No entanto, esses mecanismos compensatórios são rapidamente exauridos⁶.

O parâmetro crítico para a avaliação da função cerebral não é, na verdade, a PIC e, sim, o fluxo sanguíneo cerebral (FSC) adequado para atender às demandas metabólicas do encéfalo. O FSC depende da pressão parcial de gás carbônico no sangue arterial e também da pressão de perfusão cerebral (PPC), que, por sua vez, possui relações com a pressão arterial média (PAM) e com a PIC, conforme demonstrado pela equação a seguir:

$$PPC = PAM - PIC$$

Logo, com aumentos progressivos da PIC, há reduções na PPC, considerando-se uma PAM constante. Com o quadro de HIC estabelecido, o FSC torna-se tão reduzido que se instaura um quadro de isquemia difusa, podendo culminar na dramática situação de herniação cerebral, levando ao óbito ou à grave sequela. Considera-se, no contexto do trauma, o valor de PIC de 20 mmHg de forma sustentada e não provocada como ponto de corte para definição de HIC, e uma meta de PPC adequada acima de 60 mmHg⁶.

4.3 Métodos de avaliação da PIC

As técnicas de medição da PIC podem ser divididas entre invasivas e não invasivas.

Entre as técnicas invasivas, há a ventriculostomia, o implante de cateter intraparenquimatoso e o implante do parafuso subdural, sendo as duas primeiras mais comumente utilizadas.

Entre as técnicas não invasivas, podem ser citados os exames de imagem, como a TC de crânio e a ressonância magnética (RM) de encéfalo e, mais recentemente, a USG da BNOP.

4.3.1 Técnicas invasivas

A ventriculostomia é considerada a técnica padrão-ouro por permitir a calibração do sistema mesmo após sua inserção, além de possuir a vantagem de poder controlar a PIC por meio de drenagem liquórica. A ventriculostomia e o implante do cateter intraparenquimatoso apresentam melhor acurácia e confiabilidade e são capazes de informar os dados de forma contínua⁸. Ambas as técnicas possuem o mesmo ponto de entrada, situado na região frontal paramediana, cerca de 1,0 cm anterior à sutura coronal, e preferencialmente do lado direito, em que possíveis lesões iatrogênicas teriam menor gravidade quando comparadas às aquelas do lado esquerdo⁶.

Na ventriculostomia, o cateter é inserido por aproximadamente 5,0 cm até atingir a cavidade do sistema ventricular, o que é confirmado pelo retorno de LCR. Após a montagem e a conexão do sistema, a medida da PIC pode ser observada no monitor de sinais vitais. No trauma, o implante da ventriculostomia costuma ser tecnicamente mais difícil devido à diminuição das cavidades ventriculares e/ou desvio das estruturas da linha mediana⁶.

O cateter intraparenquimatoso é inserido a uma profundidade mais curta, cerca de 2,0 cm a partir do orifício de entrada no crânio⁵. Ele é constituído por um transdutor que conduz a informação por meio de uma fibra óptica cuja extremidade se situa na porção subcortical do parênquima cerebral. Além de possuir sistema de montagem de mais fácil manejo, ele está associado à menor incidência de infecção em relação à ventriculostomia.

Por serem procedimentos cirúrgicos nos quais existem os riscos de hemorragia, infecção associada, obstrução/quebra do sistema com necessidade de troca do mesmo, há necessidade de equipe neurocirúrgica habilitada, disponibilidade de estrutura adequada de bloco cirúrgico e materiais, recursos que, devido ao alto custo, nem sempre estão à disposição nas redes públicas de saúde do Brasil⁹. A taxa de infecção associada à ventriculostomia pode atingir até 22%, tendo como valor médio

8,8% e a incidência de hemorragia associada ao implante da ventriculostomia pode variar de 1,1 % a 41%¹⁰.

4.3.2 Métodos de imagem

A TC de crânio é o método de imagem mais utilizado nos serviços de urgência, principalmente por ter alta sensibilidade, menor custo e ser de mais rápida execução que a RM de encéfalo. A TC é o exame padrão na avaliação inicial do trauma e pode ser repetida toda vez que houver evolução desfavorável ou aumento de PIC. Ela informa o aumento da PIC por meio de sinais indiretos, como o apagamento das cisternas de base, dos sulcos corticais, a perda de interface entre as substâncias cinzenta e branca, e o desvio das estruturas da linha mediana.

No entanto, ela possui como desvantagem a necessidade de se realizar, muitas vezes, o deslocamento de pacientes graves e instáveis hemodinamicamente até o setor de imagem. Há um estudo publicado constatando que, durante tais deslocamentos, pode ocorrer um aumento adicional da PIC devido à posição inadequada da cabeça e em virtude de alterações ventilatórias¹¹. Deve-se ressaltar também que, nas unidades hospitalares brasileiras, assim como nas de outros países, muitas vezes, o transporte de tais pacientes é supervisionado por um médico residente com menor experiência para lidar com potenciais complicações.

Além disso, outra desvantagem é o fato de ser um método de avaliação pontual, ao passo que, pela dinâmica do acompanhamento médico do TCE, faz-se necessária a repetição desse exame com frequência muito alta para se acompanhar a evolução das lesões secundárias, o que aumenta sobremaneira a exposição à radiação e os custos financeiros envolvidos.

4.4 Nervó óptico

O canal óptico, localizado na asa menor do osso esfenóide, recebe o nervo óptico proveniente da órbita, que conduz, preponderantemente, fibras aferentes retinianas. O nervo óptico é revestido pelas meninges (pia-máter, aracnoide e dura-máter), que constituem a BNOP que se fixa à esclera junto ao forame escleral posterior¹². O espaço subaracnoideo presente na BNOP é um prolongamento do intracrani-

ano. Portanto, qualquer aumento na PIC faz com que o LCR seja drenado para fora das cisternas intracranianas, espalhando-se pelo restante do espaço subaracnoideo, o que determina a dilatação da BNOP, podendo culminar em um papiledema¹³. No entanto, o papiledema é uma manifestação tardia da HIC, podendo aparecer após horas ou dias, ao contrário da dilatação da BNOP que é bem mais precoce.

O valor médio do diâmetro da BNOP considerado normal, na ausência de HIC, pode ser encontrado na literatura a partir de medidas realizadas por meio de USG, TC e RM. Em um trabalho turco composto por 195 indivíduos saudáveis, com idade superior a 65 anos, apresentando média de idade de 75 anos \pm 7,0, o valor médio do diâmetro da BNOP à USG foi de 4,16 mm \pm 0,69, variando de 2,20 a 6,20 mm¹⁴. Outro trabalho, canadense, com 20 indivíduos saudáveis apresentando média de idade de 29,3 anos, encontrou o valor médio do diâmetro da BNOP à USG, de 3,68 mm (2,85 – 4,40; IC 95%)¹⁵. Em um estudo israelense, com 300 indivíduos sem diagnóstico de HIC, apresentando média de idade de 47 anos, o valor médio do diâmetro da BNOP à TC foi 4,94 mm \pm 1,51 no olho direito (OD) e de 5,17 mm \pm 1,34 no olho esquerdo (OE), variando de 3,50 a 7,50 mm em ambos os olhos¹⁶. Em uma publicação, na Coreia do Sul, com 214 indivíduos sem HIC, apresentando média de idade de 40 anos, o valor médio do diâmetro da BNOP à TC foi de 4,20 mm \pm 0,60, variando de 2,90 a 5,30 mm¹⁷. Em outro estudo, também na Coreia do Sul, com 314 indivíduos sem diagnóstico de HIC, apresentando média de idade de 47,8 anos \pm 7,3, o valor médio do diâmetro da BNOP à RM foi de 4,71 mm (4,66 – 4,75; IC 95%), variando de 3,75 a 6,20 mm¹⁸.

4.5 Avaliação ultrassonográfica da BNOP

O trabalho pioneiro em USG do bulbo ocular data de 1956, mas, apenas em 1979, avaliações ultrassonográficas da BNOP foram realizadas com o intuito de se documentar o alargamento do espaço subaracnoideo^{19,20}. Contudo, as imagens obtidas eram de difícil interpretação em virtude da limitação tecnológica da época. Com o aprimoramento atual dos equipamentos de USG, um melhor embasamento científico ocorreu, tornando esse método promissor na detecção da HIC^{21,22}.

Um dos primeiros trabalhos publicados sobre o tema correlacionou a variação da BNOP com o aumento da PIC em amostras de nervo óptico obtidas em cadáve-

res. De acordo com as preparações histológicas do nervo óptico, foram selecionadas as distâncias de 3,0 mm e de 10,0 mm posteriores à papila. Ao término da análise, constatou-se que a BNOP na distância de 3,0 mm posteriores à papila apresentava maior diâmetro em relação à distância de 10,0 mm, com aumentos de 60% e de 35%, respectivamente. Além disso, com a incidência lateral do feixe ultrassônico, houve menor variação interobservador. Porém, tal posicionamento da sonda do aparelho de USG não pode ser realizado *in vivo* devido ao bloqueio sonoro promovido pela parede óssea lateral da órbita. Por esse motivo, posicionamentos da sonda em cortes axial, longitudinal e transversal, em abordagem transpalpebral, são realizados²³.

Outro estudo experimental, envolvendo 12 pacientes submetidos à infusão intratecal de fluidos e com mensuração da PIC por meio de transdutor de pressão intratecal, demonstrou a resposta *in vivo* da dilatação da BNOP em relação às alterações da PIC. Nesse estudo, em níveis abaixo de 22 mmHg, observou-se pouca ou nenhuma alteração no diâmetro da BNOP. A partir desse nível, houve correlação direta entre as medidas da PIC e da BNOP, até se atingir o limite de dilatação elástica da bainha, o que correspondeu a níveis em torno de 30 mmHg²⁴.

Um trabalho em porcos evidenciou boa correlação entre a medida ultrassonográfica da BNOP e o aumento da PIC causado por infusão direta de fluido até atingir a pressão de 60 mmHg. Em média, o diâmetro da BNOP aumentou $0,0034 \text{ mm} \pm 0,0003$ a cada mmHg elevado²⁵.

Em outro estudo, cuja amostra foi formada por 40 indivíduos assintomáticos voluntários, com idades variando de 18 a 77 anos, com média de $37,1 \text{ anos} \pm 13,9$, foi realizada a medida da BNOP para avaliar o grau de variação entre diferentes examinadores. O valor médio do diâmetro da BNOP foi $5,4 \text{ mm} \pm 0,6$, com intervalo de 4,3 a 7,6 mm. Foi demonstrada uma grande concordância interobservador, considerando-se tanto a medida de cada olho separadamente, quanto a média dessas medidas²⁶. Ainda outro estudo composto por 67 indivíduos assintomáticos, com idades variando de 19 a 63 anos, com média de 37 anos, avaliou tanto a variação intra quanto interobservador. O diâmetro da BNOP variou de 2,4 a 4,7 mm, com intervalo médio de 3,2 a 3,6 mm. Novamente, foi demonstrada forte correlação entre as medidas. Fato interessante é que houve redução do intervalo de variação após cada investigador da pesquisa ter realizado 17 medidas consecutivas. A variação caiu de

0,6-0,7 mm para 0,2 mm, sendo esse valor considerado o limite de resolução axial inerente à frequência da sonda do aparelho de USG utilizado²⁷.

4.6 USG da BNOP com valores de PIC baseados em métodos de imagem

Um estudo com 61 pacientes recrutados em sala de emergência e submetidos à TC de crânio feita por imaginologista e, logo após, à USG da BNOP realizada por médico emergencista, demonstrou que a discrepância entre as medições do nervo óptico à TC e à USG foi mínima. Segundo os pesquisadores, isso evidencia a aplicabilidade da USG mesmo por médicos que não são especialistas em imagem²⁸.

Outro estudo envolvendo 222 indivíduos com suspeita de HIC, vítimas de TCE ou de acidente cerebrovascular, submetidos à TC de crânio e à USG, demonstrou que o emprego da USG da BNOP é um método facilmente disponível e preciso na triagem para se determinar a elevação da PIC nesses pacientes. O valor de corte definido para o diâmetro da BNOP à USG foi de 4,85 mm²⁹.

Em uma avaliação de 100 pacientes, sendo o grupo caso de 50 indivíduos com alterações na TC sugestivas de HIC e o grupo controle de 50 indivíduos normais, todos submetidos à USG da BNOP, foi demonstrado que a USG é um método útil para se determinar o aumento da PIC, definindo-se, então, o valor de corte para o diâmetro da BNOP de 5,3 mm para a detecção de desvio de estruturas da linha mediana, correspondendo a 70% de sensibilidade e a 74% de especificidade³⁰.

Comparando-se a acurácia da USG da BNOP com a USG com Doppler da artéria oftálmica em um estudo caso-controle com 60 pacientes, sendo 30 do grupo com alterações tomográficas de HIC, evidenciou-se uma acurácia superior da USG da BNOP em relação à USG com Doppler da artéria oftálmica para se detectar a HIC. O valor de corte definido para o diâmetro da BNOP à USG foi de 4,53 mm, correspondendo a 100% de sensibilidade e de especificidade, enquanto que os índices velocimétricos da artéria oftálmica à USG com Doppler foram moderadamente acurados, alcançando 56,7-60% de sensibilidade e 63,3-76,7% de especificidade³¹.

4.7 USG da BNOP com valores de PIC baseados em técnicas invasivas

Estudo prospectivo, incluindo 65 indivíduos com vários diagnósticos, como hemorragia subaracnoidea, hemorragia intraparenquimatosa, acidente cerebrovascular, TCE e tumor cerebral, submetidos à ventriculostomia ou ao implante de cateter intraparenquimatoso, definiu um valor de corte para o diâmetro da BNOP à USG de 4,80 mm, correspondendo a 96% de sensibilidade e a 94% de especificidade para o diagnóstico da HIC³².

Outro trabalho, que comparou a medição invasiva da PIC em relação à USG da BNOP em 41 pacientes admitidos em unidade de terapia intensiva neurocirúrgica, definiu o valor de corte para o diâmetro da BNOP em 5,21 mm, correspondendo a 95% de sensibilidade e a 80,4% de especificidade para o diagnóstico da HIC³³.

4.8 USG da BNOP com valores de PIC obtidos por punção lombar

Em um estudo publicado em 2016, no qual 30 pacientes foram encaminhados com suspeita de HIC idiopática, apresentando idades variando de 13 a 64 anos, com média de 37,1 anos \pm 13,5, 19 tiveram o diagnóstico confirmado. Nesses pacientes, o diâmetro da BNOP variou de 5,70 a 8,10 mm, com média de 6,76 mm. No grupo sem HIC, o diâmetro da BNOP variou de 5,0 a 6,6 mm, com média de 5,7 mm. O valor de corte definido para o diâmetro da BNOP para o diagnóstico de HIC foi de 6,30 mm, correspondendo a 94,7% de sensibilidade e a 90,9% de especificidade. Além disso, documentou-se que, após punção de alívio (“punção terapêutica”), houve uma redução dos valores do diâmetro da BNOP em 87% dos casos³⁴.

Um artigo publicado em 2016, incluindo 13 pacientes com idades variando de 12 a 18 anos, demonstrou que a USG da BNOP é capaz de identificar o aumento do diâmetro da mesma em pacientes com HIC idiopática. Em dez pacientes com pressão de abertura maior que 20 mmHg, o valor médio do diâmetro da BNOP do olho direito foi de 5,5 mm \pm 1,2 e o do olho esquerdo foi de 5,4 mm \pm 1,0. Em três pacientes com pressão de abertura menor que 20 mmHg, o valor médio do diâmetro da BNOP foi de 3,8 mm \pm 0,2 em ambos os olhos. O valor de corte definido para o diâmetro da BNOP foi de 4,5 mm, correspondendo a 100% de sensibilidade e de especificidade³⁵.

Outra publicação, também de 2016, avaliou um grupo de 21 pacientes com HIC idiopática e secundária, com média de idade de 36,0 anos \pm 10,8, comparando-o a um grupo controle de mesmo número de integrantes, com média de idade de 41,7 anos \pm 11,9, e verificou que o valor médio do diâmetro da BNOP do grupo acometido – 6,50 mm \pm 0,67 – foi superior ao do grupo controle – 5,73 mm \pm 0,67³⁶.

4.9 Variação do diâmetro da BNOP por diferentes técnicas de imagem, em diferentes populações

Estudos asiáticos consideram que os valores de referência do diâmetro da BNOP podem variar entre diferentes etnias³⁷. Foi evidenciado, em asiáticos, que o limite superior do diâmetro da BNOP era menor que os relatados em estudos de populações caucasiana e afrodescendente. Enquanto nas amostras de caucasianos os valores médios do diâmetro da BNOP à USG se situaram entre 5,4 mm²⁶ a 6,3 mm³⁵, três trabalhos coreanos relataram valores médios de 4,1 mm (2,9 – 5,3 mm; 214 pacientes; à TC)¹⁷, 4,37 mm (3,85 – 4,89; 301 pacientes; à RM)³⁸ e 4,9 mm (4,6 – 5,2 mm; 26 pacientes; à USG)³⁷. Um trabalho turco relatou, à TC, o valor médio de 4,4 mm (3,2 – 5,6 mm; 100 pacientes)³⁹ e dois trabalhos chineses relataram valores médios, à USG, de 3,55 mm (3,17 – 3,93 mm; 178 pacientes)⁴⁰ e 5,1 mm (4,7 – 5,4 mm; 519 pacientes)⁴¹.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Tipo de estudo

Trata-se de um estudo clínico observacional, descritivo e transversal. Como não houve intervenção, todas as rotinas de cuidado ao paciente vítima de TCE foram mantidas, segundo protocolos da Instituição, sem prejuízo a nenhuma das partes.

5.2 Local do estudo

Os pacientes vítimas de TCE foram admitidos na sala de politraumatizados do Hospital João XXIII/Fundação Hospitalar do Estado de Minas Gerais (FHEMIG), em Belo Horizonte, Minas Gerais. Após avaliação inicial pela equipe neurocirúrgica foi definida a permanência na sala ou o encaminhamento do paciente ao bloco cirúrgico. Após serem submetidos a algum tipo de tratamento cirúrgico, os pacientes foram encaminhados ao centro de terapia intensiva (CTI) da Instituição, local de realização do estudo. A coleta de dados foi iniciada em dezembro de 2017 e finalizada em agosto de 2019. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa - FHEMIG, CAAE: 78743317.8.0000.5119.

5.3 População e amostra do estudo

Pacientes com quadro de TCE grave, definidos como aqueles apresentando alteração do estado de consciência e pontuação igual ou inferior a oito na Escala de Coma de Glasgow, foram submetidos à TC de crânio. Esse exame foi interpretado de acordo com a classificação de Marshall⁴²(Tabela 1).

A classificação tomográfica da lesão cerebral difusa compreende as categorias de I a IV e leva em conta que a PIC aumenta progressivamente à medida que as cisternas de base são comprimidas e/ou o desvio das estruturas da linha mediana se torna mais proeminente. A mortalidade estimada para a categoria grau I é 9,6%; para a categoria II, 13,5%; para a categoria III, 34% e para a categoria IV é 56,2%⁴².

Tabela 1: Classificação tomográfica da lesão cerebral difusa.

Categoria	Definição
I	Ausência de lesão intracraniana visível na TC de crânio.
II	Cisternas presentes; desvio de estruturas da linha mediana de 0 a 5mm e/ ou presença de lesão densa; ausência de lesão de densidade alta ou mista > 25ml; pode incluir fragmentos ósseos e corpos estranhos.
III	Cisternas comprimidas ou ausentes; desvio de estruturas da linha mediana de 0 a 5 mm; ausência de lesão de densidade alta ou mista > 25ml.
IV	Desvio de estruturas da linha mediana > 5 mm; ausência de lesão de densidade alta ou mista > 25ml.

Fonte: Adaptado de Marshall *et al.*⁴²

Aqueles pacientes categorizados como Marshall II e III apresentavam indicação de monitorização invasiva da PIC. Dessa forma, foram encaminhados ao bloco cirúrgico e submetidos ao implante de cateter intraparenquimatoso para medição da PIC, procedimento realizado pelo neurocirurgião assistente de plantão. Os pacientes categorizados como Marshall IV, além da monitorização da PIC, receberam tratamento cirúrgico — craniectomia descompressiva — da tumefação cerebral.

5.4 Critérios de inclusão

Neste estudo, foram incluídos pacientes com idade igual ou superior a 18 anos, de ambos os sexos, que apresentaram quadro de TCE fechado com: (1) alteração do estado de consciência e pontuação igual ou inferior a oito na Escala de Coma de Glasgow; (2) TC de crânio alterada, categorizando-os como Marshall II, III e IV, ou TC de crânio normal, categorizando-os como Marshall I, porém, com pelo menos dois dos três critérios para indicar medição invasiva da PIC, por cateter intraparenquimatoso, a saber: idade > 40 anos; pressão arterial sistólica < 90 mmHg; postura de descerebração/decorticação⁶.

5.5 Critérios de não inclusão

Não foram incluídos no estudo os pacientes com: idade inferior a 18 anos; trauma craniano penetrante; doenças oftalmológicas prévias que pudessem interferir no diâmetro da BNOP; trauma ocular direto concomitante que não permitisse a realização da medida ultrassonográfica da BNOP; ou responsável legal que não aceitasse participar da pesquisa.

5.6 Instrumentos

TC de crânio

A análise da TC de crânio foi realizada pelo pesquisador responsável durante a internação do paciente no CTI, tendo os achados sido categorizados de acordo com a classificação de Marshall já descrita.

Medida invasiva da PIC

O cateter utilizado na instituição foi o intraparenquimatoso de fibra óptica de 4 French de diâmetro, acoplado ao monitor da PIC Camino® Cam 02. Dentro do bloco cirúrgico, e sob anestesia geral, com o paciente em decúbito dorsal, foi realizada a marcação do ponto de Kocher — 2,0 cm da linha mediana e 1,0 cm anterior à sutura coronal —, tendo sido feita uma incisão, preferencialmente do lado direito, e uma pequena trepanação frontal, permitindo a inserção do cateter no espaço intraparenquimatoso. Essa técnica foi empregada nos casos de TCE, de acordo com o que foi descrito nos critérios de inclusão.

O monitor fornece informação contínua da PIC, permitindo acesso a seu histórico das últimas 24 horas. Quando era evidenciado um episódio de HIC, definido neste trabalho como o aumento da PIC ≥ 20 mmHg⁷, o intensivista reavaliava o paciente para determinar a sua origem. Verificava-se o nível de sedação, se havia má adaptação ao ventilador mecânico ou presença de febre. Caso não houvesse nenhuma dessas alterações, era realizada uma infusão endovenosa rápida de solução salina hipertônica a 10% na dose de 2,0 ml/kg. Caso não houvesse reposta satisfa-

tória ou caso os aumentos da PIC se tornassem frequentes, o neurocirurgião de plantão era acionado para reavaliar o quadro e proceder à craniectomia descompressiva, caso necessária.

USG da BNOP

O aparelho de USG empregado foi o SonoSite M-Turbo® com sonda de 10 MHz, utilizando-se gel condutor para ultrassom, à base de polímero de carboxivinílico. A técnica da mensuração foi realizada conforme preconizada na literatura^{1,9,23,24}, utilizando-se abordagem transpalpebral e fazendo-se a medida a cerca de 3,0 mm posteriores à superfície do disco óptico, aferindo-se o diâmetro dural-dural. Foram realizadas três medidas em cada nervo óptico, calculando-se a média aritmética das mesmas e a média aritmética das medidas entre os dois nervos.

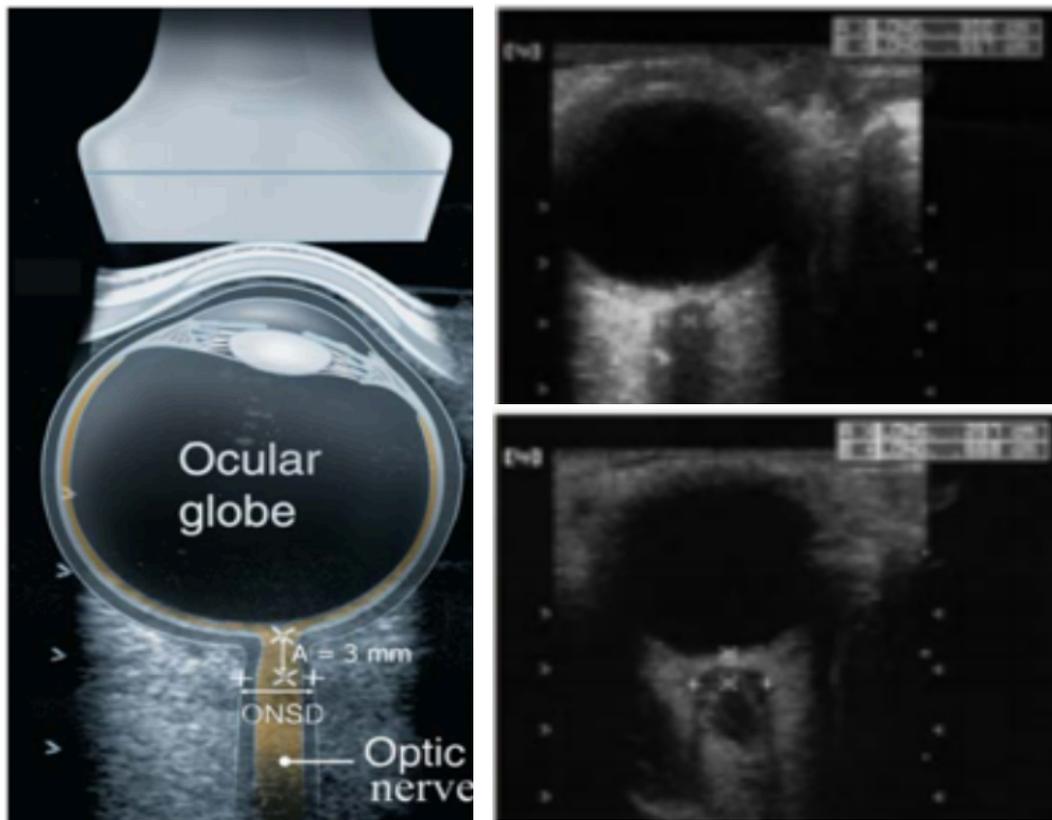


Figura 1: Imagem da USG da BNOP. Imagem à esquerda: técnica preconizada para medição ultrassonográfica da BNOP com mensuração feita a cerca de 3,0 mm posteriores à superfície do disco óptico. Imagem à direita superior: diâmetro da BNOP normal em um paciente sem HIC. Imagem à direita inferior: diâmetro da BNOP aumentado em um paciente com HIC.

Fonte: Adaptado de Geeraerts et al⁴³.



Figura 2: Imagem da USG da BNOP de paciente do estudo com PIC elevada.

A mensuração do diâmetro da BNOP foi realizada após o paciente ser identificado nas visitas diárias do pesquisador ao CTI. Foi tentado realizar uma medida diária durante o período em que havia medição invasiva pelo cateter intraparenquimatoso da PIC mediante a disponibilidade do pesquisador para realizar a coleta. Em cada avaliação, o valor da PIC era aferido simultaneamente à medição da BNOP por outro examinador, de forma que quem estava aferindo a BNOP não visualizasse a leitura invasiva da PIC. Essa conduta teve o objetivo de evitar que o pesquisador fosse, de alguma forma, sugestionado.

Nem todos os pacientes que preenchiam os possíveis critérios de inclusão puderam fazer parte do estudo, já que uma grande parte desses pacientes eram admitidos sem documentação e sem identificação e, por isso, não havia familiares ou responsáveis legais que pudessem assinar o termo de consentimento. Isso representou uma grande perda de amostras. Todos pacientes que preenchiam critérios e cujos responsáveis legais foram identificados aceitaram participar da pesquisa.

5.7 Critérios de análise

Os dados foram analisados por meio do programa STATA 14.0 (*Stata Corp LP, College Station, TX, USA*). Tabelas de frequências foram utilizadas para as análises.

lises descritivas. O teste Shapiro-Wilk foi empregado inicialmente para avaliação da distribuição normal das variáveis contínuas. As variáveis contínuas foram comparadas entre grupos, utilizando-se o teste Wilcoxon.

As associações entre variáveis categóricas foram avaliadas a partir do teste exato de Fisher. As correlações entre variáveis contínuas foram avaliadas a partir do teste de correlação de Spearman. A análise da curva ROC (*Receiver operating curve*) foi empregada para a obtenção da área sob a curva (AUC), do melhor ponto de corte, e das sensibilidade e especificidade da medida ultrassonográfica da BNOP na detecção de PIC ≥ 20 mmHg. Para todos os testes, um valor de $p \leq 0,05$ foi considerado como estatisticamente significativo.

Não foi realizado cálculo amostral, contudo, foram utilizados como base de análise para comparação de tamanho de amostras estudos prévios com metodologia e perfil de pacientes semelhantes.

6 RESULTADOS

A amostra total compreendeu 40 pacientes, sendo oito pacientes (20%) com HIC. Foram realizadas 53 medidas ultrassonográficas da BNOP, sendo que houve medição em apenas um momento em 28 participantes (70%) — dos quais sete apresentavam HIC —, em dois momentos em dias diferentes em 11 (27,5%) — dos quais um apresentava HIC — e em três momentos em dias diferentes em um (2,5%), sem HIC.

Em relação ao gênero, 36 pacientes (90%) eram do sexo masculino e quatro (10%) do sexo feminino. A média de idade foi de 45,8 anos \pm 19,42, sendo os extremos de 18 e 85 anos. A mediana foi de 47 anos.

Considerando-se os mecanismos de trauma, os acidentes de trânsito e as quedas foram os mais prevalentes, cada um com 27,5% da amostra (11 pacientes cada), seguidos pelos casos de atropelamento com 22,5% (nove pacientes) e de agressão com 12,5% (cinco pacientes). Em 10% dos casos (quatro pacientes), não foi possível determinar o mecanismo de trauma.

Não houve complicações relacionadas à técnica de medição ultrassonográfica da BNOP nem complicações relacionadas ao implante do cateter intraparenquimatoso como infecção ou hemorragia na amostra estudada.

A Tabela 2 apresenta a frequência da classificação de Marshall aplicada nas TC de crânio dos pacientes da amostra, constatando-se que: a categoria Marshall II foi a mais prevalente no estudo, abrangendo 62,5% da amostra; a categoria Marshall IV foi a segunda mais prevalente interessando 32,5%; a categoria Marshall III representou 5% da amostra; e não houve paciente na categoria Marshall I.

Tabela 2: Frequência de classificação tomográfica da lesão cerebral difusa de acordo com Marshall.

Classificação de Marshall	Número de pacientes (%)
I	0 (0,0)
II	25 (62,5)
III	2 (5,0)
IV	13 (32,5)
Total	40 (100,0)

As medidas da BNOP do OD tiveram como média $5,58 \text{ mm} \pm 1,0$, e como mediana 5,76, e as do OE tiveram como média $5,57 \text{ mm} \pm 1,0$, e como mediana 5,63. Elas foram comparadas utilizando-se o teste Wilcoxon, que evidenciou a ausência de diferença estatisticamente significativa entre as mesmas ($p = 0,4228$). Dessa forma, as análises seguintes consideraram a média entre as medidas dos dois olhos. A Tabela 3 apresenta as medidas descritivas invasivas da PIC e as medições ultrassonográficas da BNOP, de acordo com a classificação de Marshall, e levando-se em consideração a amostra total.

Tabela 3: Medidas descritivas das medições invasivas da PIC e ultrassonográficas da BNOP.

	Marshall II	Marshall III	Marshall IV	Geral
Medição invasiva da PIC (mmHg)	$11,96 \pm 7,72$ (11,00)	$9,00 \pm 1,41$ (9,00)	$16,61 \pm 4,35$ (18,00)	$13,53 \pm 6,45$ (14,00)
USG da BNOP (mm)	$5,48 \pm 1,0$ (5,47)	$5,16 \pm 1,9$ (5,16)	$5,84 \pm 1,0$ (6,10)	$5,58 \pm 6,45$ (5,62)

Legenda: Média \pm desvio-padrão (mediana).

Em virtude da distribuição desigual das categorias, não foi possível empregar um teste estatístico plenamente confiável, mas, ainda assim, a análise descritiva indica menores valores de medição invasiva da PIC e da USG da BNOP na categoria Marshall III, e maiores valores na categoria Marshall IV.

A Tabela 4 mostra que 44 pacientes (83%) apresentaram PIC < 20 mmHg (sem HIC), e nove (17%) apresentaram PIC ≥ 20 mmHg (com HIC). O valor ultrassonográfico médio da BNOP no grupo sem HIC foi de 5,4 mm ± 1,0, e no grupo com HIC foi de 6,4 mm ± 0,7 diferença considerada estatisticamente significativa (teste Wilcoxon; p = 0,0026) (Gráfico 1).

Tabela 4: Valores médios da BNOP nos grupos sem HIC (PIC < 20 mmHg) e com HIC (PIC ≥ 20 mmHg).

Grupo	Número de medidas	Média ± DP (mm)	Mediana (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
PIC < 20 mmHg	44	5,4 ± 1,0	5,5	3,2	6,9
PIC ≥ 20 mmHg	9	6,4 ± 0,7	6,4	4,9	7,4
Amostra total	53	5,6 ± 1,0	5,6	3,2	7,4

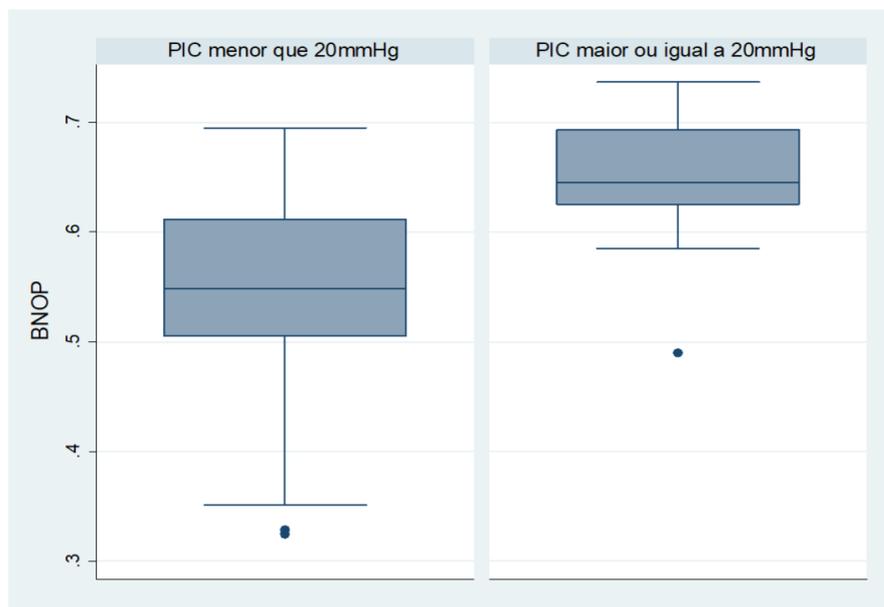


Gráfico 1: Gráfico *boxplot* da média da BNOP nos grupos sem HIC (PIC < 20 mmHg) e com HIC (PIC ≥ 20 mmHg) (p = 0,0026).

A correlação entre a BNOP e a medição invasiva da PIC foi avaliada a partir do teste de correlação de Spearman, que demonstrou uma correspondência positiva ($r = 0,3310$) e estatisticamente significativa ($p = 0,0155$), conforme indicado pelo Gráfico 2.

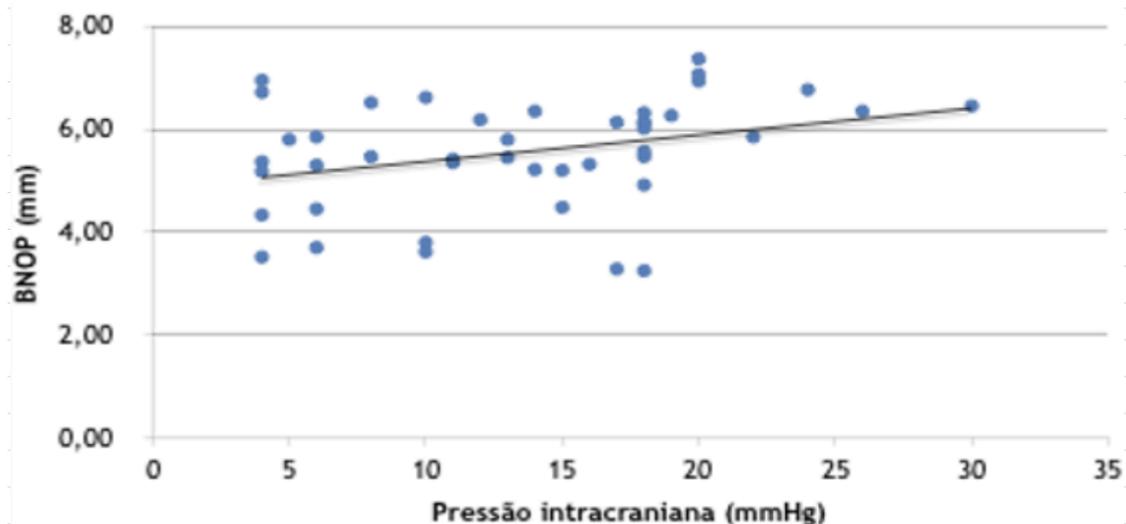


Gráfico 2: Correlação entre medições invasivas da PIC e as medidas ultrassonográficas da BNOP.

Após a análise do Gráfico 2, observa-se uma correlação positiva moderada, de modo que o aumento do diâmetro da BNOP acompanha o aumento da PIC. Das 53 medidas do diâmetro da BNOP realizadas, nove (17%) estiveram acompanhadas de PIC ≥ 20 mmHg, tendo esse achado sido considerado como um resultado positivo na análise do impacto dessa metodologia na detecção dos casos com HIC.

A Tabela 5 demonstra os valores, obtidos a partir da análise da curva ROC, da AUC, do melhor ponto de corte e das correspondentes sensibilidade e especificidade da medida ultrassonográfica da BNOP na detecção de casos de HIC (PIC ≥ 20 mmHg).

Tabela 5: Análise da curva ROC da medida ultrassonográfica da BNOP na detecção de casos de HIC (PIC ≥ 20 mmHg).

	Valor
Área sob a curva	0,8207 (0,644–0,9972)
Ponto de corte	6,18 mm
Sensibilidade	77,80%
Especificidade	81,81%

O Gráfico 3 evidencia a curva ROC de sensibilidade e de especificidade para a medida ultrassonográfica da BNOP na detecção de casos de HIC (PIC \geq 20mmHg).

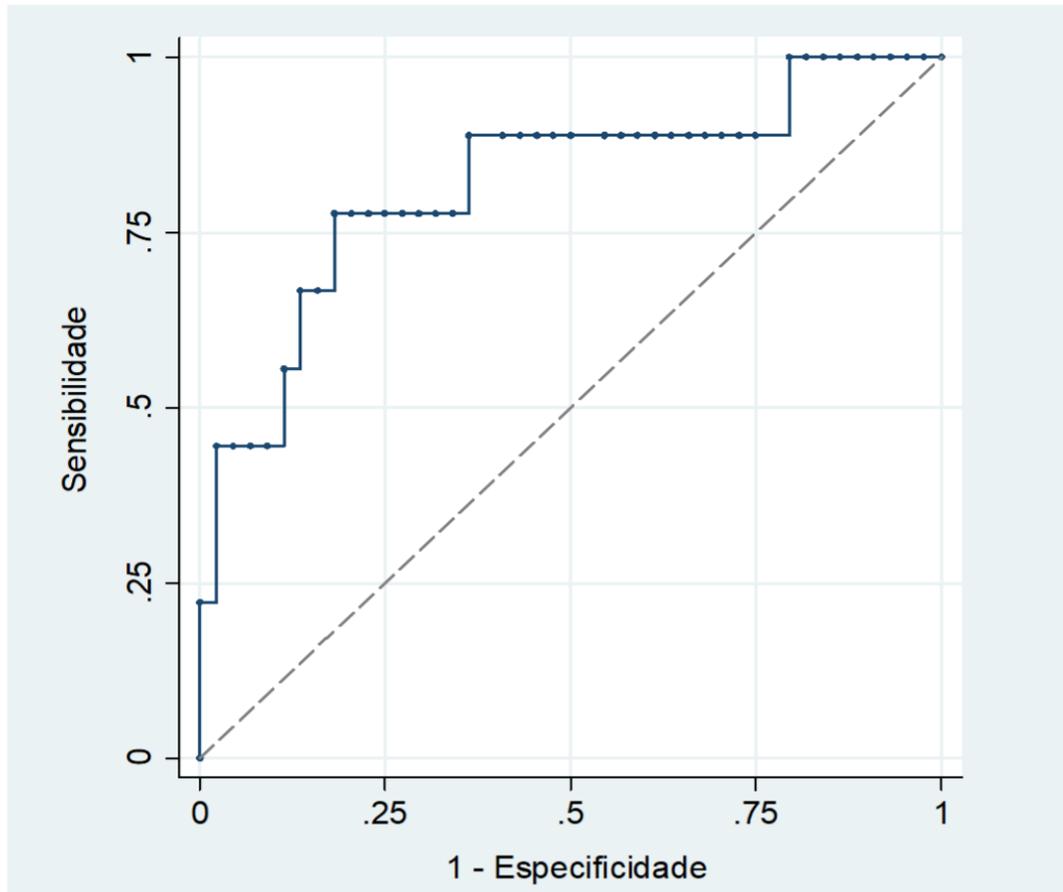


Gráfico 3: Curva ROC para BNOP na detecção de HIC (PIC \geq 20 mmHg).

Os resultados de sensibilidade indicam que 77,8% dos indivíduos com HIC podem ser diagnosticados com esta condição, tomando-se como referência um valor \geq 6,18 mm da medida ultrassonográfica da BNOP.

Por sua vez, os resultados de especificidade indicam que 81,8% dos indivíduos que não estão com HIC podem ser diagnosticados sem essa condição, tomando-se como referência um valor $<$ 6,18 mm da medida ultrassonográfica da BNOP.

7 DISCUSSÃO

Os dados epidemiológicos da amostra em estudo refletem, em grande parte, o perfil do paciente vítima de TCE no Brasil⁵. A grande maioria, 90% dos pacientes, é do sexo masculino. A faixa etária mais acometida foram os adultos jovens com média de idade de 45 anos, em situação economicamente ativa.

Em relação aos mecanismos de trauma, pode-se constatar que a causa mais prevalente foram os acidentes de trânsito, notadamente um problema de saúde pública do país, junto com as quedas, também um mecanismo tradicionalmente comum visto nos serviços de urgência. Como os pacientes vítimas de TCE grave apresentam uma alta energia cinética associada ao trauma, é de se esperar que os acidentes de trânsito, as quedas, principalmente de alturas elevadas, e os atropelamentos sejam os principais mecanismos, o que foi constatado na análise da presente amostra.

A frequência da categoria de Marshall mais comumente encontrada foi Marshall II, o que seria o esperado. Chama a atenção o número pequeno de pacientes Marshall I e III, o que pode apontar algum grau de baixa indicação de medição invasiva nesses casos, já que não há sinais tomográficos de hemorragia em muitos deles e o médico assistente acaba optando por um tratamento mais conservador. Não houve diferença estatisticamente significativa entre as médias dos olhos direito e esquerdo, de forma que a análise final pôde ser realizada utilizando a média de ambos os olhos, conforme o que se encontra preconizado pela literatura^{1,9,23,24}.

Por ter havido uma distribuição desigual entre as categorias de Marshall, a análise final foi realizada considerando o conjunto de medidas do diâmetro da BNOP de todos os pacientes. Outro estudo, com mais pacientes e com distribuição mais homogênea das categorias de Marshall, seria necessário para se poder categorizar e analisar separadamente cada tipo, com um maior poder de análise.

O presente estudo evidenciou uma correlação positiva moderada entre o aumento da PIC e o aumento da medida ultrassonográfica da BNOP. O melhor ponto de corte, a partir do qual se espera uma PIC ≥ 20 mmHg, foi de 6,18mm, com 77,8% de sensibilidade e 81,8% de especificidade.

Na literatura, podem-se encontrar diversos trabalhos publicados com o objetivo de se determinar o diâmetro da BNOP, que seria o ponto de corte ideal para se

determinar o quadro de HIC. Algumas publicações envolvem um grande número de indivíduos nas pesquisas, porém, uma crítica relevante é que muitos autores não utilizaram medidas objetivas da PIC, sendo que muitas associações foram feitas baseadas em fatores, como a condição clínica dos indivíduos ou, tão somente, a análise de exames de imagem.

Blaivas, Theodoro e Sierzenski, em 2003, investigaram 35 pacientes vítimas de TCE ou hemorragias cerebrais espontâneas. Nesse estudo, a definição de HIC foi baseada em achados de TC de crânio, como hidrocefalia, desvio de estruturas da linha mediana acima de 3,0 mm, e apagamentos de sulcos e de cisternas mesencefálicas. Nos indivíduos com achados de HIC, foi encontrado o valor de diâmetro médio da BNOP de 6,27 mm e, nos indivíduos sem suposta HIC, o valor de 4,42 mm. Os autores, baseando-se apenas em estudos prévios, utilizaram uma medida de 5,0 mm como referência para a detecção de HIC, e informaram, a partir desse critério, uma sensibilidade de 100% e uma especificidade de 95%. Não foi utilizada uma medida quantitativa da PIC como controle, e tais achados à TC de crânio não possuem uma precisão tão acurada para afirmar que o indivíduo se encontra em estado de HIC⁴⁴.

Tayal *et al.*, em 2007, realizaram um trabalho semelhante ao anterior, investigando 59 pacientes, tendo sido também empregado um valor de referência, já pré-determinado a partir de estudos de outros autores, de 5,0 mm do diâmetro da BNOP à USG, e utilizando-se como marcador de HIC as alterações observadas à TC de crânio. Oito pacientes com achados sugestivos de HIC apresentaram valor médio de diâmetro da BNOP de 6,27 mm (5,54 – 6,96; IC 95%), e os outros 51 pacientes sem suposta HIC, valor médio de 4,94 mm (4,74 – 5,15; IC 95%). Houve, em média, uma diferença estatisticamente significativa de 1,33 mm para mais no valor do diâmetro da BNOP dos pacientes com HIC, tendo havido uma sensibilidade de 100% e uma especificidade de 63%².

Goel *et al.*, em 2008, utilizaram a mesma linha de investigação dos dois estudos anteriores, a saber, HIC definida por achados de TC de crânio e diâmetro da BNOP > 5,0 mm. Em um grupo composto por 100 pacientes, a maioria vítima de TCE, sendo os acidentes de trânsito também os mais prevalentes, a média de idade foi de 28 anos, indicando uma população mais jovem em relação ao presente trabalho, em que foi encontrada média de 45,8 anos. Além disso, 73 pacientes com evi-

dência de HIC à TC de crânio apresentaram valor de diâmetro da BNOP de 5,8 mm \pm 0,57, enquanto os outros 27 apresentaram valor médio de 3,5 mm \pm 0,75, diferença estatisticamente significativa, e que resultou em sensibilidade de 98,3% e especificidade de 62,5%. Dos 73 pacientes, 59 foram submetidos a procedimento neurocirúrgico para a drenagem de hematoma, e dos outros 27 pacientes, apenas um foi submetido a tal procedimento⁴⁵.

Os três artigos mencionados já partiram de um valor da PIC pré-estabelecido retirado de outros estudos, sem a tentativa de se construir um valor de ponto de corte com razoáveis sensibilidade e especificidade dentro da população estudada. Esses trabalhos, diferentemente do presente estudo, não foram quantitativos, na medida em que a TC de crânio não fornece um valor exato da PIC naquele momento, apenas sugerindo a possibilidade ou não de existência da HIC. Apesar de haver estudo determinando a correlação entre a PIC e os achados de TC⁴⁶, muitas vezes, essas alterações não são precisas, principalmente em pacientes idosos e etilistas, que possuem atrofia cerebral, permitindo uma maior complacência intracraniana em vigência de lesões expansivas.

Outros estudos publicados, e até mesmo utilizados em revisões ou meta-análises, não apresentaram nenhum tipo de comparação, baseando-se inteiramente na premissa de que adultos voluntários não apresentariam risco de ter quadro de HIC. Em 2015, um grupo de pesquisadores realizou medidas ultrassonográficas da BNOP em 519 chineses voluntários, supostamente assintomáticos. A média encontrada foi de 5,10 mm e o percentil de 95% se situava abaixo de 5,90 mm. Nesse trabalho, eles notaram que as variáveis estatura e diâmetro da BNOP eram estatisticamente correlacionadas ($p < 0,05$). Contudo, o coeficiente de correlação era baixo, com $r = 0,0063$, denotando fraca associação entre as mesmas⁴¹.

Outros trabalhos semelhantes realizaram medidas aleatórias também em voluntários. Um primeiro, datado de 2012, em 40 indivíduos saudáveis, encontrou o valor médio do diâmetro da BNOP de 5,4 mm \pm 0,6, com intervalo de 4,3 – 7,6 mm, definindo um ponto de corte de 5,8 mm, e conferindo especificidade de 80% a essa amostra²⁶. Um segundo, datado de 2013, em 136 indivíduos saudáveis, encontrou o valor médio do diâmetro da BNOP de 4,41 mm (4,24 – 4,83), com 95% dos indivíduos apresentando medida inferior a 4,75 mm⁴⁷. Chama a atenção, nesse último trabalho, um ponto de corte consideravelmente menor que o dos outros trabalhos apre-

sentados. Uma possível explicação seria que essa amostra envolveu a população de Bangladesh, havendo também indivíduos com idade inferior a 18 anos e, por conseguinte, tal diferença poderia ser oriunda de variações étnicas e etárias.

Tentativas de se realizar uma análise mais quantitativa são encontradas em estudos comparando o diâmetro da BNOP com medidas da PIC por meio de punção lombar. Wang *et al.* (2015), em uma amostra, composta por 279 indivíduos, encontraram 101 (36%) apresentando valor de PIC ≥ 20 mmHg, e um valor de PIC < 20 mmHg nos 178 restantes (64%). No primeiro grupo, o valor médio do diâmetro da BNOP foi de $4,58 \text{ mm} \pm 0,46$, e no segundo, $3,55 \text{ mm} \pm 0,38$ ($p < 0,001$). A análise da curva ROC forneceu um ponto de corte de 4,1 mm, com 95% de sensibilidade e 92% de especificidade. Novamente, pode-se tentar inferir que o valor médio do diâmetro da BNOP na população chinesa seja menor que o da população ocidental devido à possível influência de características étnicas⁴⁰. Porém, esse mesmo estudo reconhece que, ao se utilizar como referência de PIC a medição por meio de punção lombar, corre-se o risco de não se obter medidas tão precisas como aquelas aferidas por técnicas padrão-ouro, como derivação ventricular ou implante de cateter intraparenquimatoso, já que a medida obtida na região lombar pode sofrer influência de vários fatores, como a posição dos membros inferiores, o grau de relaxamento muscular durante a medição, e a presença de aderências aracnoideas, que podem não transmitir a real pressão do compartimento intracraniano.

Ao se analisar dados de publicações nas quais o valor ultrassonográfico do diâmetro da BNOP foi comparado a técnicas invasivas de monitorização intracraniana, pode-se estabelecer uma melhor comparação com os dados encontrados no presente estudo, devido à proximidade metodológica dos mesmos. Moreti *et al.* (2009), em uma publicação cuja amostra foi composta por 63 pacientes com diagnóstico de hemorragia intracraniana espontânea — intraparenquimatosa ou subaracnoidea —, sedados e em uso de ventilação mecânica, realizaram a medição invasiva de forma mista, com 39 pacientes submetidos à derivação ventricular externa e 24 ao uso de cateter intraparenquimatoso. O valor médio do diâmetro da BNOP nos pacientes com PIC < 20 mmHg foi de $5,0 \text{ mm} \pm 0,49$, e nos pacientes com PIC ≥ 20 mmHg, de $6,16 \text{ mm} \pm 0,57$ ($p < 0,01$). O ponto de corte encontrado foi de 5,2 mm, com 93,10% de sensibilidade e 73,85% de especificidade⁴⁸.

No estudo de Soldatos *et al.* (2008), cuja amostra inicial incluiu 89 indivíduos, apenas 50 eram vítimas de TCE, apresentando o restante outros diagnósticos não neurológicos. Entre os pacientes com TCE, 32 se classificaram como TCE grave — alteração do estado de consciência e pontuação igual ou inferior a oito na Escala de Coma de Glasgow —, tendo sido submetidos à medição invasiva da PIC com cateter intraparenquimatoso. Não foi encontrada correlação entre as medidas ultrassonográficas da BNOP e a medição indireta da PIC por Doppler transcraniano nos pacientes com diagnósticos não neurológicos ou nos casos de TCE moderado. Contudo, houve correlação entre o diâmetro da BNOP, as medidas por Doppler transcraniano e as medidas diretas por cateter intraparenquimatoso no grupo com TCE grave. Nesse grupo, foi encontrado ponto de corte de 5,7 mm, com 74,1% de sensibilidade e 100,0% de especificidade⁴⁹.

Outra publicação, de Geeraerts *et al.* (2007), com amostra composta por 31 pacientes vítimas de TCE grave, demonstrou um valor médio do diâmetro da BNOP de 5,1 mm \pm 0,7 nos pacientes com PIC < 20 mmHg, e de 6,2 mm \pm 0,4 naqueles com PIC \geq 20 mmHg ($p < 0,0001$), definindo-se ponto de corte de 5,9 mm, com 87% de sensibilidade e 94% de especificidade. Essa publicação apresentou uma amostra total com pacientes vítimas de TCE grave, sedados e sob ventilação mecânica, como nos moldes deste estudo. O objetivo dos autores foi determinar, na avaliação inicial, um valor de diâmetro da BNOP que fosse preditivo de PIC elevada nas 48 horas seguintes⁴³. No entanto, uma crítica que se apresenta é que a medida ultrassonográfica da BNOP foi feita com um intervalo de diferença de cerca de uma hora até se obter a primeira leitura da medida invasiva da PIC por cateter intraparenquimatoso. Isso se revela uma limitação importante, pois, como se sabe, o TCE é um processo rápido e dinâmico, e, dentro desse intervalo de cerca de uma hora, pode haver um aumento ou uma diminuição dos valores da PIC. No presente estudo, a medida realizada do diâmetro da BNOP foi concomitante à leitura da medida invasiva da PIC.

Em 2008, uma nova publicação capitaneada por Geeraerts, estudou uma amostra, dessa vez heterogênea, composta por 22 pacientes vítimas de TCE grave, 14 com hemorragia subaracnoidea/intraparenquimatosa espontânea e um com acidente vascular encefálico isquêmico, totalizando 37 pacientes. No total, foram realizadas 78 medidas ultrassonográficas da BNOP com checagem simultânea da PIC

por meio de cateter intraparenquimatoso, tendo sido definido ponto de corte de 5,86 mm, com 95% de sensibilidade e 79% de especificidade¹³.

Estudo de Kimberly *et al.* (2008), correlacionando a medida do diâmetro da BNOP com a medição invasiva por meio de derivação ventricular externa, foi conduzido em 15 pacientes, sendo apenas quatro vítimas de TCE. No total, foram realizadas 38 medidas ultrassonográficas. Nos pacientes com PIC < 20 mmHg, o valor médio do diâmetro da BNOP foi de 4,4 mm ± 0,49, enquanto o valor encontrado nos pacientes com PIC ≥ 20 mmHg foi de 5,4 mm ± 0,49, tendo sido definido ponto de corte de 5,0 mm, com 88% de sensibilidade e 93% de especificidade⁵⁰.

Outro estudo, de Rajajee *et al.* (2011), incluiu um total de 65 pacientes, sendo apenas 11 vítimas de TCE e o restante formado por 41 casos de hemorragias espontâneas, cinco tumores do sistema nervoso central, cinco casos de disfunção de derivações ventriculares, um caso de insuficiência hepática, um caso de trombose de seio venoso cerebral e um caso de acidente vascular isquêmico. A monitorização invasiva foi mista, sendo 77% por meio de derivação ventricular externa e 23% por cateter intraparenquimatoso e, além disso, 41% dos pacientes estavam sob ventilação mecânica. Foi realizado um total de 97 medidas ultrassonográficas. O valor médio do diâmetro da BNOP no grupo com HIC foi de 5,3 mm, e de 4,0 mm no grupo sem HIC ($p < 0,0001$). O ponto de corte determinado foi de 4,8 mm, com 96% de sensibilidade e 94% de especificidade. É interessante notar que, nesse estudo, os autores fizeram medidas da BNOP dos pacientes submetidos à ventilação mecânica e daqueles não submetidos à mesma, tendo sido constatada uma diferença estatisticamente significativa. No grupo com ventilação mecânica, o ponto de corte foi de 5,0 mm, com 90% de sensibilidade e 98% de especificidade, valor um pouco acima do valor de 4,8 mm encontrado na amostra geral³².

Em publicação de Jeon *et al.* (2017), composta por 62 pacientes, sendo 38 com hemorragia intraparenquimatosa, 13 com hemorragia subaracnoidea, cinco com tumores/abscessos, quatro com hemorragia ventricular e dois com hidrocefalia, a medição invasiva foi realizada por meio de derivação ventricular. A medida ultrassonográfica da BNOP era realizada após indução anestésica, e a medida invasiva da PIC era realizada tão logo o cateter fosse implantado, não sendo informado o tempo decorrido entre esses dois momentos. Foram realizadas 62 medidas ultrassonográficas da BNOP. Nos 32 pacientes com HIC, o valor médio do diâmetro

da BNOP foi de $5,80 \text{ mm} \pm 0,45$, enquanto que, no grupo sem HIC, este valor foi de $5,30 \text{ mm} \pm 0,61$. O ponto de corte definido foi de $5,6 \text{ mm}$, com $93,75\%$ de sensibilidade e $86,67\%$ de especificidade⁵¹.

No trabalho de Robba *et al.* (2017), foram incluídos 64 pacientes no total, com 45 vítimas de TCE, 15 com hemorragia subaracnoidea e quatro pacientes com hemorragia intraparenquimatosa, sendo que a média de idade foi de 53 anos (37 – 64). A monitorização invasiva da PIC foi mista, com a utilização de ventriculostomia ou de cateter intraparenquimatoso, porém não tendo sido especificada a porcentagem de cada grupo. Foram realizadas medidas ultrassonográficas da BNOP e também foram obtidos os índices velocimétricos por meio de Doppler transcraniano. Houve correlação estatisticamente significativa entre a medição invasiva da PIC e a medida ultrassonográfica do diâmetro da BNOP, e também entre a medição invasiva da PIC e a velocidade de fluxo sistólico do seio reto. Porém, os autores afirmaram que esse segundo método possui limitações dentro do contexto de TCE, uma vez que não é possível de ser realizado em pacientes que utilizam colar cervical, recurso muito empregado em casos de TCE. Além disso, a insonação do seio reto não pôde ser realizada em cerca de 30% dos pacientes devido à ausência de janela ultrassonográfica favorável. O valor médio do diâmetro da BNOP foi de $4,9 \text{ mm}$ ($4,2 - 6,0$), com ponto de corte definido de $5,85 \text{ mm}$, correspondendo a $86,6\%$ de sensibilidade e a $82,6\%$ de especificidade⁵².

Tabela 6: Resumo das principais publicações que utilizaram técnicas invasivas como referência de determinação da PIC.

Publicação	N	Diagnóstico	Ponto de corte (mm)	Sensibilidade (%)	Especificidade (%)
Geeraerts <i>et al.</i> ⁴³ (2007)	31	TCE grave	5,9	87,0	94,0
Geeraerts <i>et al.</i> ¹³ (2008)	37	Diversos	5,86	95,0	79,0
Kimberly <i>et al.</i> ⁵⁰ (2008)	15	Diversos	5,0	88,0	93,0
Soldatos <i>et al.</i> ⁴⁹ (2008)	32	TCE grave	5,7	74,1	100,0
Moreti <i>et al.</i> ⁴⁸ (2009)	63	Hemorragia cerebral espontânea	5,2	93,1	73,8
Rajajee <i>et al.</i> ³² (2011)	65	Diversos	4,8	96,0	94,0
Jeon <i>et al.</i> ⁵¹ (2017)	62	Diversos	5,6	93,8	86,7
Robba <i>et al.</i> ⁵² (2017)	64	Diversos	5,85	86,6	82,6
Presente estudo (Ferreira, 2020)	40	TCE grave	6,18	77,8	81,8

A partir da Tabela 6, pode-se realizar uma análise comparativa entre os resultados deste estudo e os demais já publicados. Até a presente data, esta dissertação apresenta, em toda a literatura, a maior amostra homogênea composta exclusivamente por pacientes vítimas de TCE grave, sedados e sob ventilação mecânica. O ponto de corte obtido apresentou valor superior, porém próximo ao encontrado nos trabalhos envolvendo apenas pacientes com TCE. É importante pontuar que este é o primeiro trabalho realizado avaliando a correlação da medida ultrassonográfica da BNOP em população brasileira. Conforme já discutido, parece haver uma diferença nas medidas do diâmetro da BNOP quando se consideram populações de origem étnica diversa. Contudo, não é possível afirmar se as diferenças podem ser devidas a isso.

Outra hipótese a se levantar em relação aos diferentes valores de ponto de corte obtidos seria a da influência da diferença de idade entre as populações estudadas. As amostras com ponto de corte de 5,86 mm e 5,85 mm apresentaram

uma média de idade de 46 e 53 anos, respectivamente^{13,52}. Outro estudo com ponto de corte de 5,7 mm apresentou uma média de idade de 49 anos⁴⁹. Uma amostra com ponto de corte de 5,6 mm apresentou uma média de idade de 56 anos³³. Em casuísticas com ponto de corte de 4,8 mm e 5,0 mm, a média de idade foi 53 e 60 anos, respectivamente^{50,38}. No presente estudo, o ponto de corte foi de 6,18 mm, com média de idade de 46 anos, média essa mais próxima àquela encontrada nos estudos com ponto de corte mais elevado. Seriam necessários novos estudos morfológicos e populacionais comparativos para trazer luz a essa questão.

Rajajee *et al.* publicaram, em 2011, o artigo que apresentou maior casuística — 65 pacientes, e o ponto de corte encontrado de 4,8 mm foi, até então, o menor. Os autores salientaram que a razão pela qual encontraram esse resultado foi que eles realizaram medidas mais precisas que as dos outros autores, uma vez que tiveram maior cuidado ao tentar realizá-las da forma mais exata possível, com a preocupação de se evitar qualquer artefato hipoeicoico posterior ao bulbo ocular que causasse imprecisão na determinação dos limites da BNOP³². No presente estudo, houve também essa preocupação e, logo, tal diferença não pode ser explicada somente considerando esse detalhe. Esses mesmos autores, ao dividirem os pacientes em grupos submetido ou não à ventilação mecânica, puderam constatar que o grupo submetido à ventilação mecânica apresentou valores médios de diâmetro da BNOP mais elevados, com diferença estatisticamente significativa. Como todos os pacientes da presente tese foram submetidos à ventilação mecânica, isso também poderia ser um fator a ser considerado na discussão para justificar um ponto de corte mais elevado. Para se obter uma sensibilidade de 100% na amostra desta tese, um ponto de corte de 4,5 mm deveria ser empregado, porém, a especificidade seria extremamente baixa, em torno de 20,5%.

Um exemplo interessante da aplicação prática da medida do diâmetro da BNOP ocorreu na Instituição onde as amostras deste estudo foram coletadas, porém, como o paciente era menor de 18 anos, ele foi excluído da amostra. Tal paciente, de 14 anos, vítima de acidente de bicicleta, inicialmente encontrado inconsciente, com dez pontos na Escala de Coma de Glasgow, evoluiu com rebaixamento de sensório e com midríase bilateral, tendo sido submetido à intubação endotraqueal e à TC de crânio que evidenciou inchaço cerebral difuso, com desvio de estruturas da linha mediana < 5 mm e apagamento das cisternas de base, sendo, portanto, classi-

ficado como Marshall III. A equipe assistente implantou um cateter intraparenquimatoso com PIC inicial de 40 mmHg. Após infusão de solução salina hipertônica, houve redução da midríase e a PIC caiu abaixo de 20 mmHg. No CTI, o paciente começou a apresentar alguns picos de HIC, responsivos à solução salina, e manteve uma PIC média de 20 mmHg. Foi realizada a medida ultrassonográfica da BNOP e o valor encontrado foi de 7,25 mm (figura 3).

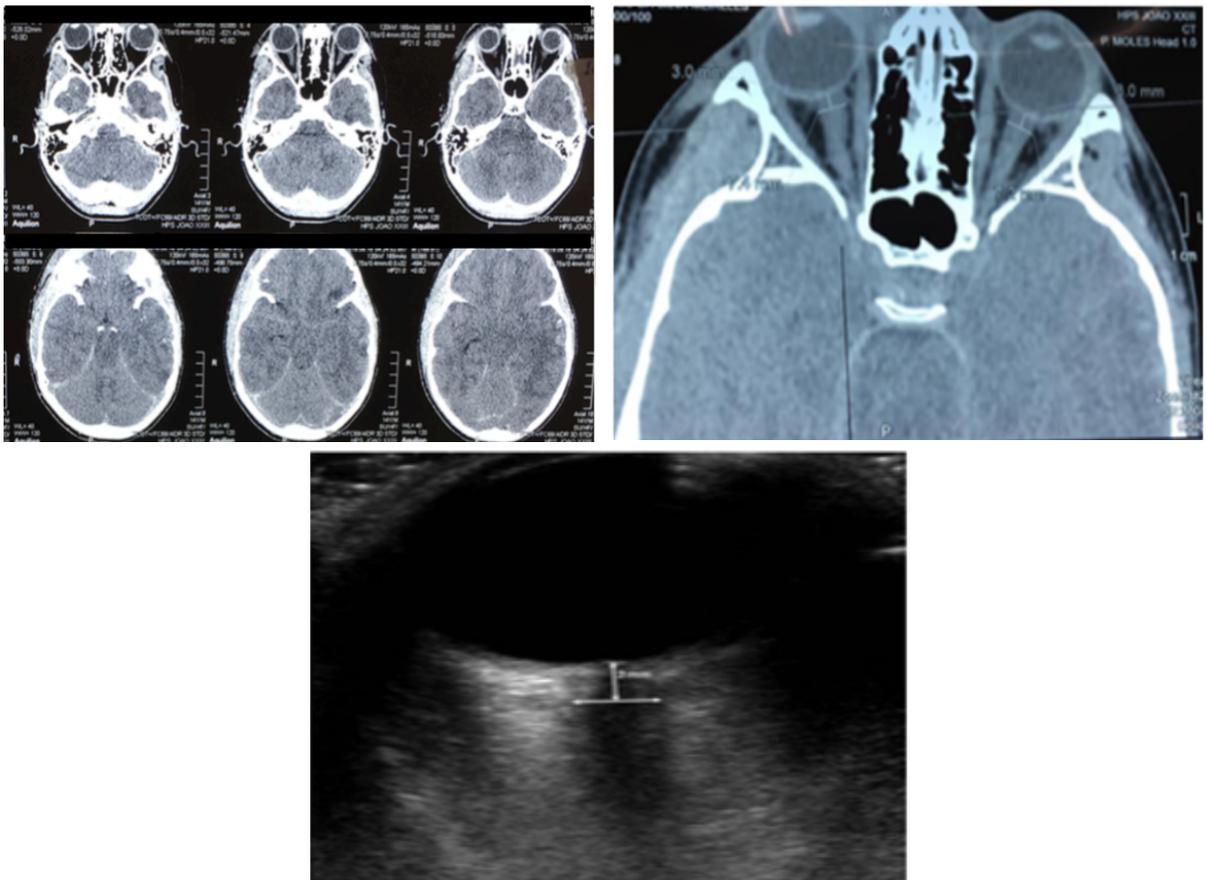


Figura 3: Ilustração do caso discutido. Imagem superior: TC de crânio evidenciando inchaço cerebral difuso e apagamento das cisternas de base (categoria Marshall III). Imagem central: medida ultrassonográfica da BNOP — valor médio de 7,25 mm. Imagem inferior: medição da BNOP à TC, mostrando correspondência entre os valores encontrados.

Apesar de manter uma PIC limítrofe de 20 mmHg, como o diâmetro da BNOP estava aumentado, optou-se pela realização de craniectomia descompressiva desse paciente. No primeiro dia pós-operatório, a medida do diâmetro da BNOP foi de 6,5 mm, ocorrendo uma redução de 10% em relação ao valor inicial, e o valor da PIC

foi de 18 mmHg. No segundo dia pós-operatório, o valor do diâmetro da BNOP foi de 5,9 mm, ocorrendo uma redução de 9,2% em relação ao valor do dia anterior, e o valor da PIC foi de 16 mmHg, optando-se pela retirada da monitorização invasiva intracraniana e da sedação. Após cinco dias, o adolescente já estava extubado, conversando e não apresentava déficits neurológicos.

Outro caso que ilustra essa variação dinâmica da medida do diâmetro da BNOP foi o de um paciente da amostra cuja medida inicial foi de 6,45 mm, com um valor de PIC de 30 mmHg. Após infusão de solução salina hipertônica, o valor de PIC reduziu para 18 mmHg e nova medida da BNOP, realizada cerca de 30 minutos após, demonstrou um valor de 5,46 mm, ocorrendo uma redução de aproximadamente 15%. Como o número de casos nos quais essas medidas dinâmicas pré e pós-tratamento da HIC foi pequeno, não foi possível analisá-los, porém, tal metodologia pode ser contemplada em um projeto futuro.

O emprego da medição do diâmetro da BNOP à USG para determinação da HIC não possui como objetivo substituir as técnicas invasivas, que são consagradas como altamente precisas nessa determinação. Porém, ao se analisar os dados da literatura e do presente estudo, os resultados sugerem que a medição ultrassonográfica do diâmetro da BNOP seja uma técnica complementar e confiável no manejo do TCE, doença extremamente comum no país. É sabido que, em muitos serviços de urgência, onde pacientes vítimas de TCE são recebidos, não existem equipes de neurocirurgia estruturadas e, muitas vezes, também não há tomógrafos ou outros métodos de imagem. Pelo custo financeiro muito menor, existe um número maior de aparelhos de USG disponíveis e, como tal técnica pode ser realizada por clínicos, cirurgiões ou emergencistas, sua implementação pode ajudar a definir aqueles pacientes em alto risco de HIC e que necessitam de transferência, em caráter emergencial, para serviços de maior complexidade.

Outra possível utilização da técnica ultrassonográfica na medição do diâmetro da BNOP seria no contexto da terapia intensiva. Muitas vezes, os pacientes que são vítimas de TCE possuem traumas diversos concomitantes, sejam torácicos, abdominais ou ortopédicos, e, devido à presença de drogas vasoativas, drenos e/ou fixadores externos, o transporte de tais pacientes é trabalhoso, muitas vezes, arriscado e até mesmo impeditivo. Sendo assim, a realização da medida do diâmetro da BNOP

à beira do leito pode ajudar a definir quais pacientes mais se beneficiariam de um controle tomográfico em menor intervalo de tempo.

Este estudo possui como limitações o número de pacientes examinados, apesar de ser a maior amostra composta exclusivamente de pacientes vítimas de TCE com medição invasiva já descrita na literatura. Uma amostra maior poderia elevar o poder do estudo, com maiores taxas de sensibilidade e de especificidade. A amostra apresentou 17% de medidas de PIC ≥ 20 mmHg e, como as medições dependiam da disponibilidade do autor para serem executadas, não seria correto, tampouco ético, aguardar a chegada do mesmo para realizar a medida e, somente após, intervir no tratamento da HIC. Outro estudo, com as medidas sendo realizadas por um número maior de profissionais, sobretudo, intensivistas, poderia ter uma quantidade muito maior de casos. Outro potencial projeto poderia ser a avaliação da variação do diâmetro da BNOP à USG após tratamentos para HIC, como terapias hiperosmolares ou craniectomia descompressiva. Dentro dessa possibilidade de um novo projeto com participação de mais examinadores, seria possível também realizar uma análise da técnica, considerando variações intra ou interobservador. A ideia inicial era de se realizar as medidas ultrassonográficas da BNOP cotejando-as com as medidas tomográficas, porém, não houve como realizar ambas as técnicas dentro de um intervalo próximo de tempo, o que poderia gerar fator de confusão. Constitui-se em proposta para outro projeto futuro.

8 CONCLUSÃO

A presente dissertação foi o primeiro estudo a realizar a medida do diâmetro da BNOP em população brasileira, correlacionando-a com a medição invasiva da PIC por meio de cateter intraparenquimatoso. Ao tentar comparar as medidas médias do diâmetro da BNOP, de acordo com cada categoria da classificação tomográfica de Marshall, houve uma distribuição desigual das categorias, com muitos pacientes Marshall II e IV e poucos ou nenhum paciente Marshall I e III. Logo, não foi possível empregar teste estatístico de maneira confiável, mas a análise descritiva indica menores valores da PIC e do diâmetro da BNOP nos pacientes Marshall III.

O estudo demonstrou que há uma correlação positiva entre a medida ultrassonográfica da BNOP e o valor da PIC aferido por meio da técnica invasiva de implante de cateter intraparenquimatoso.

A partir dessa correlação e da análise da curva ROC, determinou-se o ponto de corte de 6,18 mm, com 77,8% de sensibilidade e 81,8% de especificidade, como o valor de referência a partir do qual se espera encontrar uma PIC ≥ 20 mmHg, definindo-se HIC, na população vítima de TCE grave no Brasil.

REFERÊNCIAS

1. Amini A, Kariman H, Dolatabadi A, Hatamabadi H, Derakhshanfar H, Mansouri B, Safari S, Eqtesadi R. Use of the sonographic diameter of optic nerve sheath to estimate intracranial pressure. *Am J Emerg Med.* 2013;31(1):236-39.
2. Tayal V, Neulander M, Norton H, Foster T, Saunders T, Blaivas M. Emergency department sonographic measurement of optic nerve sheath diameter to detect findings of increased intracranial pressure in adult head injury patients. *Ann Emerg Med.* 2007;49(4):508-14.
3. Lochner P, Czosnyka M, Naldi A, Lyros E, Pelosi P, Mathur S, Fassbender K, Robba C. Optic nerve sheath diameter: present and future perspectives for neurologists and critical care physicians. *Neurol Sci.* 2019;40(12):2447-2457.
4. Ohle, R, Mclsaac S, Woo MY, Perry JJ. Sonography of the optic nerve sheath diameter for detection of raised intracranial pressure compared to computed tomography. *J Ultrasound in Medicine.* 2015;34(7):1285-94.
5. Siqueira MG. Tratado de neurocirurgia. 1. ed. São Paulo: Manole, 2015.
6. Greenberg MS. Manual de neurocirurgia. Porto Alegre: Artmed, 2017.
7. Carney N, Totten AM, O'Reilly C, Ullman JS, Hawryluk GW, Bell MJ, Bratton SL, Chesnut R, Harris OA, Kisson N, Rubiano AM, Shutter L, Tasker RC, Vavilala MS, Wilberger J, Wright DW, Ghajar J. Guidelines for the management of severe traumatic brain injury, forth edition. 2017;80(1):6-15.
8. Mattei TA. Intracranial pressure monitoring in severe traumatic brain injury: who is still bold enough to keep sinning against the level I evidence? *World Neurosurg.* 2013;79(5-6):602-4.
9. Damiani D, Damiani D. Avaliação não-invasiva da pressão intracraniana em uma sala de emergência. *Arq Bras Neurocirurgia.* 2016;38(4):279-83.
10. Tavakoli S, Peitz G, Ares W, Hafeez S, Grandhi R. Complications of invasive intracranial pressure monitoring devices in neurocritical care. *Neurosurg Focus.* 2017;43(5):E6.
11. Trofimov A, Kalentiev G, Yuriev M, Pavlov V, Grigoryeva V. Intrahospital transfer of patients with traumatic brain injury: increase in intracranial pressure. *Acta Neurochir Suppl.* 2016;122:125-27.
12. Bron AJ, Tripathi RC, Tripathi BJ. Wolff's anatomy of the eye and orbit. London: Arnold, 2001.
13. Geeraerts T, Merceron S, Benhamou D, Vigué B, Duranteau J. Non-invasive assessment of intracranial pressure using ocular sonography in neurocritical care patients. *Intensive Care Med.* 2008;34(11):2062-7.

14. Avci M, Kozaci N, Komut E, Komut S, Caliskan G, Tulubas G. The measurement of elderly volunteers' optic nerve sheath diameters by ocular ultrasonography. *Medicina (Kaunas)*. 2019;55(8):413.
15. Goeres P, Zeiler FA, Unger B, Karakitsos D, Gilman LM. Ultrasound assessment of optic nerve sheath diameter in healthy volunteers. *Journal of Crit Care*. 2016;31(1):168-71.
16. Valman M, Abuita R, Bekerman I. Optic nerve sheath diameters in healthy adults measured by computer tomography. *Int J Ophthalmol*. 2015;8(6):1240-44.
17. Lee JS, Lim DW, Lee SH, Oum BS, Kim HJ, Lee HJ. Normative measurements of Korean orbital structures revealed by computerized tomography. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*. 2001;79(2):197-200.
18. Kim DH, Jun JS, Kim R. Measurement of the optic sheath diameter with magnetic resonance imaging and its association with eyeball diameter in healthy adults. *J Clin Neuro*. 2018;14(3):345-350.
19. Mundt GH, Hughes WS. Ultrasonics in ocular diagnosis. *Am J Ophthalmol*. 1956;41:488-98.
20. Schroeder W, Guthoff R. Modellversuche zur Messung des Sehnerven. In: Gernet H, ed. *Proceedings, SIDUO VII*. Munster: Remy, 1979:3.
21. Strumwasser A, Kwan R, Yeung L, Mirafior E, Ereso A, Castro-Moure F, Patel A, Sadjadi J, Victorino G. Sonographic optic nerve sheath diameter as an estimate of intracranial pressure in adult trauma. *J Surg Res*. 2011;170(2):265-71.
22. Qayyum H, Ramlakhan S. Can ocular ultrasound predict intracranial hypertension? A pilot diagnostic accuracy evaluation in a UK emergency department. *Eur J Emerg Med*. 2016;20(2):91-97.
23. Helmke K, Hansen H. Fundamentals of transorbital sonographic evaluation of optic nerve sheath expansion under intracranial hypertension. *Pediatr Radiol*. 1996;26(10):706-10.
24. Hansen H, Helmke K. Validation of the optic nerve sheath response to changing cerebrospinal fluid pressure: ultrasound findings during intrathecal infusion tests. *J Neurosurg*. 1997;87(1):34-40.
25. Hamilton DR, Sargsyan AE, Melton SL, Garcia KM, Oddo B, Kwon DS, Feiveson AH, Dulchavsky SA. Sonography for determining the optic nerve sheath diameter with increasing intracranial pressure in a porcine model. *Ultrasound Med*. 2011;30(5):651-9.
26. Bauerle J, Lochner P, Kaps M, Nedelmann M. Intra and interobserver reliability of sonographic assessment of the optic nerve sheath diameter in healthy adults. *J Neuroimaging*. 2012;22(1):42-45.

27. Ballantyne SA, O'Neil G, Hamilton R, Hollman AS. Observer variation in the sonographic measurement of optic nerve sheath diameter in normal adults. *Eur J Ultrasound*. 2002;15(3):145-49.
28. Hassen GW, Bruck I, Donahue J, Mason B, Sweeney B, Saab W, Weedon J, Patel N, Perry K, Matari H, Jaiswal R, Kalantari H. Accuracy of optic nerve sheath diameter measurement by emergency physicians using bedside ultrasound. *J Emerg Med*. 2015;48(4):450-57.
29. Amini A, Egtesadi R, Feizi AM, Mansouri B, Kariman H, Dolatabadi AA, Hatamabadi H, Kabir A. Sonographic optic nerve sheath diameter as a screening tool for detection of elevated intracranial pressure. *Emerg (Tehran)*. 2013;1(1):15-19.
30. Komut E, Kozacı N, Sönmez BM, Yılmaz F, Komut S, Yıldırım ZN, Beydilli I, Yel C. Bedside sonographic measurement of optic nerve sheath diameter as a predictor of intracranial pressure in ED. *Am J Emerg Med*. 2016;34(6):963-67.
31. Tarzamia MK, Derakhshana B, Meshkinib A, Meratc H, Fouladid DF, Mostafazadeha S, Rezakhah A. The diagnostic performance of ultrasonographic optic nerve sheath diameter and color Doppler indices of the ophthalmic arteries in detecting elevated intracranial pressure. *Clin Neurol Neurosurg*. 2016;141:82-88.
32. Rajajee V, Vanaman M, Fletcher J, Jacobs TL. Optic nerve ultrasound for the detection of raised intracranial pressure. *Neurocrit Care*. 2011;15(3):506-15.
33. Raffiz M, Abdullah J. Optic nerve sheath diameter measurement: a means of detecting raised ICP in adult traumatic and non-traumatic neurosurgical patients. *Am J Emerg Med*. 2017;35(1):150-53.
34. Irazuzta J, Akhtar J, Brown M. Bedside optic nerve sheath diameter assessment in the identification of increased intracranial pressure in suspected idiopathic intracranial hypertension. *Pediatr Neurol*. 2016;54:35-38.
35. Saucedo PS, Redondo OG, Mateu-Mateu A, Arroyo RH, Ruiz RG, Paniagua EB. Sonographic assessment of the optic nerve sheath diameter in the diagnosis of idiopathic intracranial hypertension. *J Neurol Sci*. 2016;361:122-27.
36. Lochner P, Brio F, Zedde ML, Sanguigni S, Coppo L, Nardone R, Naldi A, Sola D, Stolz E. Feasibility and usefulness of ultrasonography in idiopathic intracranial hypertension or secondary intracranial hypertension. *BMC Neurol*. 2016;16(85):1-7.
37. Lee S, Jeon J, Lee H, Han J, Seo M, Byoun H, Cho W, Ryu H, Kang H, Kim J, Kim H, Jang K. Optic nerve sheath diameter threshold by ocular ultrasonography for detection of increased intracranial pressure in Korean adult patients with brain lesions. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95(41):1-5.

38. Ko SB. Optic nerve sheath diameter on brain magnetic resonance imaging: a single center study. *J Neurocrit Care*. 2015;8:16-24.
39. Ozgen A, Ariyurek M. Normative measurements of orbital structures using CT. *Am J Roentgenol*. 1998;170(4):1093-96.
40. Wang L, Feng L, Yao Y, Wang Y, Chen Y, Feng J, Xing Y. Optimal optic nerve sheath diameter threshold for the identification of elevated opening pressure on lumbar puncture in a Chinese population. *PLoS One*, 2015;10(2):1-10.
41. Chen H, Ding GS, Zhao YC, Yu RG, Zhou JX. Ultrasound measurement of optic nerve diameter and optic nerve sheath diameter in healthy Chinese adults. *BMC Neurol*. 2015;15(106):1-6.
42. Marshall LF, Marshall SB, Klauber MR, Clark MB, Eisenberg HM, Jane JA, Luerssen TG, Marmarou A, Foulkes MA. A new classification of head injury based on computerized tomography. *J Neurosurg*. 1991;75:14-20.
43. Geeraerts T, Launey Y, Martin L, Pottecher J, Vigué B, Duranteau J, Benhamou D. Ultrasonography of the optic nerve sheath may be useful for detecting raised intracranial pressure after severe brain injury. *Intensive Care Med*. 2007;33(10):1704-11.
44. Blaivas M, Theodoro D, Sierzenski PR. Elevated intracranial pressure detected by bedside emergency ultrasonography of the optic nerve sheath. *Acad Emerg Med*. 2003;10(4):376-81.
45. Goel RS, Goyal NK, Dharap SB, Kumar M, Gore, MA. Utility of optic nerve ultrasonography in head injury. *Injury*. 2008;39(5):519-24.
46. Eisenberg HM, Gary Jr HE, Aldrich EF, Saydjari C, Turner B, Foulkes MA, Jane JA, Marmarou A, Marshall LF, Young HF. Initial CT findings in 753 patients with severe head injury. A report from the NIH traumatic coma databank. *J Neurosurg*. 1990;73(5):688-98.
47. Maude RR, Hossain A, Hassan MU, Osbourne S, Sayeed KLA, Karim MR, Samad R, Borooah S, Dhillon B, Day NPJ, Dondorp AM, Maude RJ. Transorbital sonographic evaluation of normal optic nerve sheath diameter in healthy volunteers in Bangladesh. *PLoS One*. 2013;8(12):1-4.
48. Moreti R, Pizzi B, Cassini F, Vivaldi N. Reliability of optic nerve ultrasound for the evaluation of patients with spontaneous intracranial hemorrhage. *Neurocrit Care*. 2009;11(3):406-10.
49. Soldatos T, Karakitsos D, Chatzimichael K, Papathanasiou M, Gouliamos A, Karabinis A. Optic nerve sonography in the diagnostic evaluation of adult brain injury. *Crit Care*. 2008;12(3):1-7.

50. Kimberly HH, Shah S, Marill K, Noble V. Correlation of optic nerve sheath diameter with direct measurement of intracranial pressure. *Acad Emerg Med.* 2008;15(2):201-4.
51. Jeon JP, Lee SU, Kim SE, Kang SH, Yang JS, Choi HJ, Cho YJ, Ban SP, Byoun HS, Kim YS. Correlation of optic nerve sheath diameter with directly measured intracranial pressure in Korean adults using bedside ultrasonography. *PloS One.* 2017;12(9):e0183170.
52. Robba C, Cardim D, Tajsic T, Pietersen J, Bulman M, Donnelly J, Lavinio A, Gupta A, Menon DK, Hutchinson PJA, Czosnyka M. Ultrasound non-invasive measurement of intracranial pressure in neurointensive care: a prospective observational study. *PloS Med.* 2017;14(7):e1002356.

APÊNDICE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) BASEADO NAS DIRETRIZES CONTIDAS NA RESOLUÇÃO CNS Nº466/2012, MS, E ENTREGUE AO RESPONSÁVEL LEGAL PELO PACIENTE COM TRAUMA CRANIOENCEFÁLICO

Prezado (a) Senhor (a), esta pesquisa é sobre **AVALIAÇÃO ULTRASSONOGRÁFICA DO DIÂMETRO DA BAINHA DO NERVO ÓPTICO DE PACIENTES COM TRAUMATISMO CRANIOENCEFÁLICO GRAVE E SUA CORRELAÇÃO COM TÉCNICAS INVASIVAS** e está sendo desenvolvida pelo pesquisador FELIPE MENDES FERREIRA, do HOSPITAL JOÃO XXIII.

O objetivo do estudo é comparar uma técnica mais acessível e não invasiva para mensurar a pressão intracraniana com técnicas invasivas consagradas, visando à sua aplicabilidade clínica.

Solicitamos seu consentimento para apresentar os resultados deste estudo em eventos da área de saúde e publicá-los em revista científica indexada.

Ressaltamos que tanto seu nome quanto o do paciente serão mantidos em sigilo absoluto. Informamos que essa pesquisa não traz qualquer prejuízo para o paciente, nem altera a dinâmica usual do tratamento por ele recebido nessa Unidade. Esclarecemos que o estudo tem, acima de tudo, finalidade exclusivamente científica e o(a) senhor(a) não é obrigado(a) a fornecer informações e/ou colaborar com as atividades solicitadas pelo pesquisador.

Caso decida não consentir com o estudo ou resolver a qualquer momento desistir do mesmo, não haverá modificação na assistência que vem recebendo na Unidade.

O pesquisador estará à sua disposição para qualquer esclarecimento que considere necessário em qualquer etapa da pesquisa.

Assinatura do Pesquisador

Considerando que fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) dos objetivos e da relevância do estudo proposto, declaro o meu consentimento em permitir a pesquisa, como também concordo que os dados obtidos na investigação sejam utilizados somente para fins científicos. Estou ciente de que receberei uma via deste documento.

Belo Horizonte/MG, ____ de _____ de _____.

Assinatura do responsável legal

Para contato: FELIPE MENDES FERREIRA: (31) 99283-0958.

fepferreira@hotmail.com.

Comitê de Ética do Hospital João XXIII/FHEMIG – Av. Alfredo Balena, 400 – 10º andar – Belo Horizonte/MG.