

**Será o Eco doppler transcraniano uma
possível ferramenta de diagnóstico de
vasoespasmismo cerebral?
Revisão sistemática**

Eliane Melissa D'Alva Salvaterra

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Medicina
Mestrado integrado

Orientador: Prof. Doutor Miguel Castelo-Branco Craveiro Sousa
Coorientador: Dr. Pedro Eduardo Pires Mesquita

janeiro de 2025

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

Folha em branco

Declaração de Integridade

Eu, Eliane Melissa D'Alva Salvaterra, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição 42224 de Mestrado Integrado de Medicina da Faculdade de Ciências da Saúde, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referência de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 22 /01/2025

Eliane M. Salvaterra

(assinatura conforme Cartão de Cidadão ou preferencialmente assinatura digital no documento original se naquele mesmo formato)

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

Folha em branco

Dedicatória

“Aqueles que passam por nós, não vão sós, não nos deixam sós. Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós.”

Antoine de Saint-Exupéry, em “O Príncipezinho”

Dedico esta tese a ti, Didi, que foste, és e serás sempre tanto.

A ti, que me ensinaste a lutar pelos meus sonhos.

A ti, que acreditavas que tudo se consegue na base do diálogo e do trabalho árduo.

A ti, que sempre acreditaste em mim.

Vou fazer jus ao teu nome e levar um bocadinho da tua felicidade aos que se cruzarem ao longo do meu caminho, tal como fizeste.

Da, para sempre tua, "Miúda".

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

Folha em branco

Agradecimentos

Em primeiro lugar à minha mãe, o meu porto seguro. Agradeço pelos valores transmitidos, por representar um exemplo de força e de resiliência, e pelo apoio incondicional nesta jornada mesmo estando distante.

À minha família em São Tomé pela constante motivação e apoio ao longo destes seis anos.

Aos meus tios que por me terem acolhido desde o primeiro dia em Portugal.

Ao meu orientador, Professor Dr. Miguel Castelo Branco, pelo apoio na realização deste projeto e pela constante disponibilidade.

Ao meu coorientador, Dr. Pedro Mesquita, por ter acreditado em mim para dar vida a este projeto, pela disponibilidade e por todo o apoio.

Às Tainadas por terem sido o meu porto seguro na Covilhã e por me terem acompanhado ao longo destes seis anos.

Às minhas afilhadas por terem sido a minha luz e a minha companhia mesmo nas alturas mais complicadas.

A todos os amigos que fiz e que levo desta cidade.

Um agradecimento especial à Covilhã, o lugar onde me tornei a minha melhor versão, que foi e sempre será a minha segunda casa.

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

Folha em branco

Resumo

Introdução: A hemorragia subaracnoide (HSA) é uma condição neurológica crítica, frequentemente associada a elevadas taxas de mortalidade e morbidade. Uma das complicações mais graves associadas à HSA é o vasoespasma cerebral (VEC), que é uma condição clínica grave secundária à isquemia cerebral. A angiografia por subtração digital (ASD) é o *gold-standard* no diagnóstico do VEC, mas a sua natureza invasiva limita a sua utilização recorrente, o que implica um aumento da necessidade de métodos alternativos. Neste sentido, o Doppler Transcraniano (DTC) emerge como meio não invasivo para a monitorização contínua e precoce do VEC.

Objetivo: Avaliar a eficácia do Doppler transcraniano como ferramenta de diagnóstico precoce e não invasiva do VEC em pacientes com HSA.

Metodologia: A pesquisa foi realizada nas bases de dados MEDLINE/PubMed, Web of Science e Scopus, incluindo estudos observacionais publicados entre janeiro de 2013 e agosto de 2024, em inglês. As palavras-chave utilizadas foram: ("adult patients" OR "subarachnoid hemorrhage") AND "transcranial Doppler" AND ("cerebral vasospasm" OR "vasospasm diagnosis"). A seleção e análise dos estudos foi realizada de forma independente por três revisores. A análise de viés dos estudos incluídos foi avaliada utilizando a escala Newcastle-Ottawa (NOS), que analisa três domínios principais: seleção, comparabilidade e desfechos. Os principais *outcomes* analisados incluíram a sensibilidade e especificidade do DTC na deteção precoce do VEC, assim como a sua aplicação clínica na monitorização contínua dos pacientes com HSA. Foram também considerados os benefícios da sua utilização como alternativa não invasiva em comparação com os métodos tradicionais.

Resultados: Os seis estudos observacionais incluídos evidenciaram que o DTC apresenta uma sensibilidade moderada a alta na deteção de VEC, especialmente quando utilizado em conjunto com outros meios diagnósticos. Já no que diz respeito à sua especificidade, esta é mais variável, representando a técnica e experiência do operador um papel de impacto major nesta característica. Os

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasma cerebral?

estudos mostraram que o DTC é de especial utilidade para a monitorização contínua à cabeceira do paciente, oferecendo a vantagem de ser uma técnica não invasiva e em tempo real, embora continue a haver limitações em termos de precisão quando comparada à ASD.

Conclusão: O DTC é uma alternativa promissora e viável para a deteção precoce e monitorização do VEC em pacientes com HSA, particularmente devido à sua natureza não invasiva e à capacidade de monitorizar alterações hemodinâmicas cerebrais de forma contínua. No entanto, a variação na sensibilidade e especificidade observada nos estudos analisados, ressalta a necessidade de mais pesquisas que explorem a padronização da técnica, bem como demonstra o impacto da formação profissional na execução desta técnica. Para estudos futuros recomenda-se o foco na otimização de protocolos de uso do DTC, com o objetivo de maximizar sua aplicabilidade clínica e melhorar os *outcomes* em pacientes com HSA.

Palavras-chave

Vasoespasma cerebral; doppler transcraniano; hemorragia subaracnoidea; diagnóstico;

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

Folha em branco

Abstract

Introduction: Aneurysmal subarachnoid hemorrhage (aSAH) is a critical neurological condition often associated with high rates of mortality and morbidity. One of the most severe complications associated with SAH is cerebral vasospasm (CV), resulting from clinical deterioration secondary to cerebral ischemia. Digital subtraction angiography (DSA) is the gold standard in diagnosing CV, but its invasive nature limits the repeated use, increasing the need for alternative methods. Transcranial Doppler (TCD) emerges as a non-invasive means for the continuous and early monitoring of CV.

Objective: To evaluate the efficacy of Transcranial Doppler (TCD) as a non-invasive and early diagnostic tool for CV in patients with SAH.

Methodology: The research was conducted using the databases MEDLINE/PubMed, Web of Science, and Scopus, including observational studies published between January 2013 and August 2024, in English. The keywords used were: ("adult patients" OR "subarachnoid hemorrhage") AND "transcranial Doppler" AND ("cerebral vasospasm" OR "vasospasm diagnosis"). The selection and analysis of the studies were performed independently by three reviewers. The risk of bias in the included studies was assessed using the Newcastle-Ottawa Scale (NOS), which analyzes three main domains: selection, comparability, and outcomes. The main outcomes analyzed included the sensitivity and specificity of TCD in the early detection of CV, as well as its clinical application in the continuous monitoring of patients with SAH. The benefits of its use as a non-invasive alternative compared to traditional methods were also considered.

Results: The six included observational studies indicated that TCD has moderate to high sensitivity in detecting CV, especially when used in conjunction with other diagnostic methods. However, its specificity varies depending on the technique and operator experience. TCD proved useful for continuous bedside monitoring, offering the advantage of being a non-invasive and real-time technique, although limitations in terms of precision compared to DSA still exist.

Conclusion: TCD is a promising and viable alternative for the early detection and monitoring of CV in patients with SAH, particularly due to its non-invasive nature and ability to continuously monitor cerebral hemodynamic changes. However, the variation in sensitivity and specificity observed in the analyzed studies highlights the need for further research exploring the standardization of the technique and the impact of professional training on result interpretation. For future studies, we recommend focusing on optimizing TCD usage protocols to maximize its clinical applicability and improve outcomes in patients with SAH.

Keywords

Cerebral vasospasm; transcranial doppler; Subarachnoid hemorrhage; diagnosis

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasma cerebral?

Folha em branco

Índice

<i>Dedicatória</i>	v
<i>Agradecimentos</i>	vii
<i>Resumo</i>	ix
<i>Palavras-chave</i>	x
<i>Abstract</i>	xii
<i>Keywords</i>	xiii
<i>Lista de Figuras</i>	xviii
<i>Lista de Tabelas</i>	xx
<i>Lista de Acrónimos</i>	xxii
Capítulo 1	24
1. <i>Introdução</i>	24
Capítulo 2	27
2. <i>Métodos</i>	27
2.2. Pergunta de investigação	27
2.3. Critérios de inclusão e exclusão	27
2.4. Pesquisa da literatura	30
2.5. Seleção de estudos	30
2.6. Extração de dados	31
Capítulo 3	32
3. <i>Resultados</i>	32
3.1. Seleção de estudos	32
3.2. Avaliação de qualidade e controlo de viés	33
3.3. Características gerais dos estudos	33
3.4. Descrição individualizada dos resultados	38
3.4.1. Progressão temporal	38
3.4.2. Gravidade e Sintomas clínicos	38
3.4.3. Desempenho diagnóstico do DTC	39
3.4.4. Desempenho comparativo entre TCD e CTA	40
3.4.5. Correlações clínicas e vasoespasmo	41
Capítulo 4	42
4. <i>Discussão</i>	42
4.1.1. Limitações da revisão	45
4.1.2. Implicações clínicas	46
Capítulo 5	47
5. <i>Conclusão</i>	47
5.1. Futuras Pesquisas	47
Bibliografia	49

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

Folha em branco

Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama PRISMA.....	32
Figura 2. Escala de Newcastle-Ottawa.....	33

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

Folha em branco

Lista de Tabelas

Tabela 1. Resumo dos critérios de inclusão e exclusão.	29
Tabela 2. Características gerais dos estudos	37

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

Folha em branco

Lista de Acrónimos

AB	Artéria basilar
ACA	Artéria Cerebral Anterior
ACM	Artéria Cerebral Média
ACP	Artéria Cerebral Posterior
ASD	Angiografia por Subtração Digital
ATC	Angiografia por Tomografia Computadorizada
AV	Artéria Vertebral
AVC	Acidente Vascular Cerebral
DTC	Doppler Transcraniano
HSA	Hemorragia Subaracnóide
IC	Intervalo de confiança
NOS	<i>Newcastle-Ottawa Scale</i>
PICO	População Intervenção Comparação Outcome
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses</i>
VEC	Vasoespasmo Cerebral
VMF	Velocidade média do fluxo
VPN	Valor preditivo negativo
VPP	Valor preditivo positivo

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

Folha em branco

Capítulo 1

1. Introdução

A hemorragia subaracnóide (HSA) é uma condição grave, predominantemente causada pela rutura de um aneurisma numa artéria cerebral, normalmente localizado nas bifurcações arteriais no polígono de Willis, como a artéria comunicante anterior ou a artéria comunicante posterior. Esta rutura resulta na extravasão de sangue para o espaço subaracnóide, formando coágulos que comprometem a perfusão cerebral e desenvolvem diversas complicações neurológicas.^{23,27,37}

Estudos indicam que a HSA é responsável por cerca de 5% dos acidentes vasculares cerebrais (AVC) e pode causar a morte ou incapacidades graves em 50-70% dos pacientes afetados.^{23,24,25} Embora a incidência global da HSA tenha vindo a diminuir²⁷, é importante ressaltar que esta complicação ainda apresenta uma incidência crescente com a idade, bem como se relaciona com o género, sendo 1,3 vezes mais comum em mulheres do que em homens.^{27,28}

Uma das complicações frequentes da HSA é o vasoespasmo cerebral (VEC), que é caracterizado pela redução do lúmen arterial devido contração da musculatura lisa da artéria afetada.³ Este vasoespasmo quando é detetado através de exames de imagem vascular denomina-se vasoespasmo angiográfico. Este fenómeno ocorre alguns dias após a HSA e atinge o seu pico de gravidade cerca de uma semana depois. Se a estenose causada pelo vasoespasmo provocar uma redução significativa do fluxo cerebral, levando a isquemia cerebral e sintomas neurológicos, designa-se vasoespasmo clínico ou sintomático.² O VEC pode manifestar-se de forma focal ou difusa e variar em intensidade, classificando-se desde um grau leve até um grau grave. Esta condição afeta exclusivamente as artérias intradurais, devido à sua localização anatómica e à distribuição dos vasos sanguíneos dentro do espaço subaracnoide.

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

A acumulação de sangue no espaço subaracnoide provoca uma reação inflamatória, que resulta na liberação de substâncias vasoconstritoras, afetando principalmente as grandes artérias cerebrais, como as artérias cerebrais médias e anteriores. Estas artérias estão assim mais suscetíveis ao vasoespasmo por estarem diretamente expostas ao sangue que se espalha no espaço subaracnoide e por possuírem uma camada muscular mais pronunciada, o que favorece então a resposta de vasoconstrição prolongada. ^{2,34}

Apesar dos avanços no tratamento da HSA, que reduziram o risco combinado de morte e morbidade permanente por VEC para menos de 10%, o vasoespasmo ainda permanece como uma das principais e piores causas de *outcomes* evitáveis após a ruptura de um aneurisma. ^{2,26}

A patogênese do VEC ainda é objeto de investigação.² Entretanto, várias teorias têm sido propostas, com foco etiológico principal nas substâncias libertadas pelo coágulo, que podem induzir a contração das células musculares lisas das artérias cerebrais. Outros fatores, incluindo o dano endotelial, comprometimento da atividade vasodilatadora, alterações nos processos imunológicos e inflamatórios, também podem influenciar o estreitamento do lúmen arterial. ⁴

A angiografia por subtração digital (ASD) é reconhecida como o *gold-standard* de diagnóstico do VEC. Um dos principais benefícios é a sua elevada sensibilidade e especificidade, para além da possibilidade de realização imediata de intervenções terapêuticas endovasculares.⁵ Porém, devido à sua natureza invasiva esta técnica não pode ser aplicada repetidamente nos pacientes. Além disto, a ASD não proporciona a capacidade de monitorizar o fluxo sanguíneo cerebral ou observar alterações clínicas.¹ Dadas estas restrições, surge a necessidade de explorar métodos de diagnósticos alternativos que possam evitar a necessidade de realização da ASD na avaliação de VEC.

A Ultrassonografia com Doppler Transcraniano (DTC) surge como um dispositivo essencial na avaliação de eventos cerebrovasculares, fornecendo uma alternativa acessível, não invasiva e em tempo real para a medição das características do fluxo sanguíneo e da hemodinâmica cerebrovascular das artérias basais cerebrais. A capacidade de monitorização das alterações

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasma cerebral?

vasculares em resposta a intervenções durante eventos agudos à cabeceira do doente, torna-a uma técnica fundamental na prática clínica.

Baseada no princípio do efeito doppler, a DTC utiliza ondas de ultrassom que, ao serem transmitidas através do crânio, refletem-se nas hemácias em movimento nos vasos intracerebrais ⁶, possibilitando desta forma uma avaliação precisa e contínua do fluxo sanguíneo cerebral.

Através desta revisão sistemática pretende-se avaliar a eficácia do doppler transcraniano como ferramenta essencial para o diagnóstico precoce à cabeceira do doente, permitindo um diagnóstico rápido e não invasivo.

Capítulo 2

2. Métodos

2.1. Metodologia de estudo

Esta revisão sistemática foi baseada no método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses)⁷, que consiste nos seguintes passos: elaboração da questão de investigação, definição dos critérios de inclusão e exclusão, definição das bases de dados e elaboração da estratégia de pesquisa, seleção dos estudos, extração e sintetização dos dados dos estudos incluídos.

A pesquisa, análise e a seleção de dados foram realizadas durante os meses de junho, julho, agosto e setembro de 2024.

2.2. Pergunta de investigação

A pergunta de investigação foi feita baseando-se no modelo PICO (população, intervenção, comparação, outcome)⁸: população (P) - pacientes com hemorragia subaracnoídea, intervenção (I) - uso de ecodoppler transcraniano, comparador (C) - não se aplica nesta revisão por não se ter considerado grupo de controle, Outcome (O) - diagnóstico precoce de vasoespasm.

Considerando os parâmetros definidos surgiu a questão de investigação: “Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta para o diagnóstico do vasoespasm cerebral?”

2.3. Critérios de inclusão e exclusão

Com base na questão a investigar, foram definidos os seguintes critérios de inclusão: 1) pacientes adultos diagnosticados com HSA, dado que esta condição é fulcral para a ocorrência do VEC; 2) estudos que utilizem o DTC como meio de diagnóstico para identificar o VEC; 3) estudos que avaliem o diagnóstico precoce ou preciso do VEC por meio uso do DTC, permitindo assim verificar a eficácia da ferramenta na prática clínica; 4) artigos publicados em inglês, para garantir uma ampla base de dados acessível; 5) Estudos observacionais, ensaios clínicos, estudos de coorte e estudos de caso-controle serão considerados para inclusão, desde que avaliem a eficácia ou precisão do ecodoppler transcraniano no diagnóstico de vasoespasmo cerebral; 6) estudos publicados a partir de 2010, permitindo a inclusão de dados atuais e relevantes sobre o uso do ecodoppler transcraniano.

Os critérios de exclusão adotados na revisão foram os seguintes: estudos que não envolvam pacientes com HSA foram descartados, dado que este é o grupo de interesse. Também não foram incluídos aqueles que não utilizem métodos diagnósticos diferentes do DTC, garantindo o foco na intervenção estudada. Estudos que não abordem o diagnóstico de VEC ou que não forneçam resultados claros sobre a precisão ou diagnóstico precoce foram igualmente excluídos. Publicações em idiomas distintos de inglês foram rejeitadas, visando assegurar a acessibilidade. Além disso, relatos de caso, editoriais, resumos de conferências, revisões narrativas e estudos de casos isolados não foram considerados. Por fim, estudos publicados antes de 2010 foram descartados, a menos que fossem fundamentais para a base teórica, evitando assim a inclusão de dados desatualizados.

Resumo dos critérios de inclusão e exclusão de encontra-se apresentados na tabela 1.

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

Tabela 1. Resumo dos critérios de inclusão e exclusão.

Crítérios	Inclusão	Exclusão
População (P)	<ul style="list-style-type: none"> Pacientes com hemorragia subaracnoídea Pacientes com >18 anos 	<ul style="list-style-type: none"> Pacientes que não tiveram hemorragia subaracnoídea Pacientes com <18 anos
Intervenção (I)	<ul style="list-style-type: none"> Uso de ecodoppler transcraniano para diagnóstico 	<ul style="list-style-type: none"> Uso de outras ferramentas diagnósticas que não o ecodoppler transcraniano
Comparador (C)	<ul style="list-style-type: none"> Não se aplica 	<ul style="list-style-type: none"> Não se aplica
Outcome (O)	<ul style="list-style-type: none"> Diagnóstico precoce ou preciso de vasoespasmo cerebral 	<ul style="list-style-type: none"> Estudos que não abordam o diagnóstico de vasoespasmo cerebral
Tipo de estudo	<ul style="list-style-type: none"> Estudos observacionais Ensaios clínicos Estudos coorte Estudos caso-controle 	<ul style="list-style-type: none"> Relatos de caso, editoriais Revisões narrativas Estudos de casos isolados
Idioma	<ul style="list-style-type: none"> Estudos publicados em inglês 	<ul style="list-style-type: none"> Estudos publicados em outros idiomas
Período	<ul style="list-style-type: none"> A partir de 2010 	<ul style="list-style-type: none"> Estudos anteriores ao período estipulado (2010)

2.4. Pesquisa da literatura

A pesquisa da literatura foi efetuada utilizando 3 bases de dados: Web of Science, Scopus e PubMed, para encontrar a resposta a pergunta a investigar.

Tendo por base o modelo PICO, e para uma pesquisa mais direcionada foram utilizados os seguintes operadores booleanos: ("adult patients" OR "subarachnoid hemorrhage") AND "transcranial Doppler" AND ("cerebral vasospasm" OR "vasospasm diagnosis")

A pesquisa dos termos mencionados foi restrita a determinados campos, consoante a base de dados: na *Pubmed* foi realizada em *Title/Abstract*; no *SCOPUS* em *Title, Abstract, Keyword*; e na *Web Of Science* em *Topic*, que inclui título, resumo e palavras-chave.

2.5. Seleção de estudos

Após a pesquisa em cada base de dados os resultados obtidos foram exportados para o gestor de referências Zotero, onde foi feita a identificação de artigos duplicados, a análise e organização dos artigos. Após a exclusão de artigos duplicados, foi feita uma triagem para remover dos artigos que não eram de acesso livre. De seguida, procedeu-se à avaliação inicial dos títulos e resumos, seguida da recuperação dos artigos potencialmente relevantes. A leitura completa dos artigos foi então realizada para verificar sua elegibilidade de acordo com os critérios de inclusão e exclusão, garantindo sua relevância para a revisão.

Apresentação dos critérios de seleção de estudos encontra-se na figura 1.

2.6. Extração de dados

Após a seleção e a análise dos artigos, foi feita uma tabela no Microsoft Word para facilitar a extração de dados, com os seguintes dados: título do artigo, autores, tipo de estudo, objetivo de estudo, descrição da população, intervenção e *outcomes*.

O resumo das características gerais dos estudos incluídos, encontra-se na tabela 2.

Capítulo 3

3. Resultados

3.1. Seleção de estudos

A pesquisa nas bases de dados PubMed, SCOPUS e Web of Science, permitiram obter 713 artigos. Seguindo o modelo PRISMA, foi feita a sintetização das etapas de exclusão e inclusão de estudos⁷. Desta forma, a partir do processo de seleção dos artigos, seis artigos cumpriram todos os critérios de elegibilidade definidos.

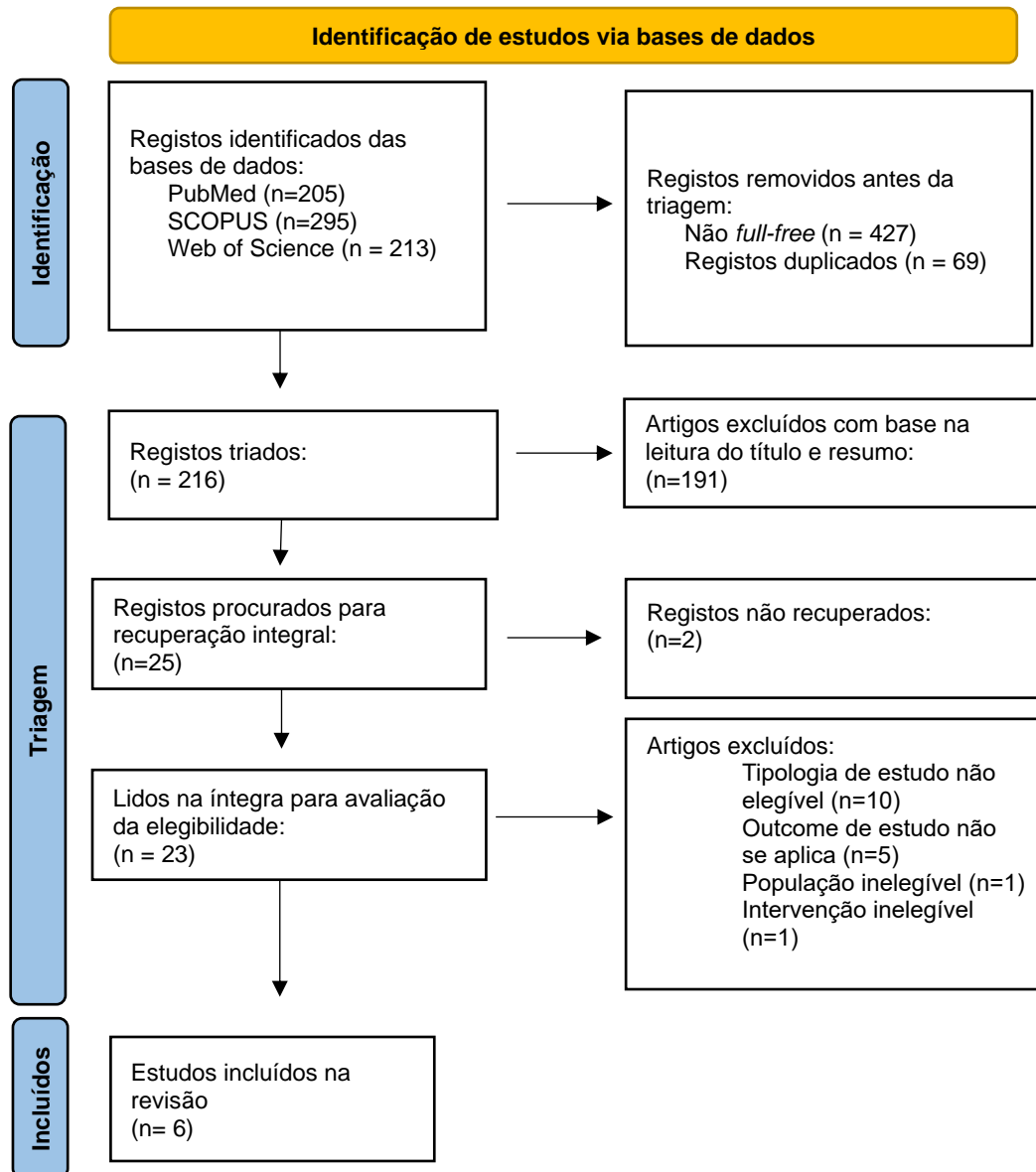


Figura 1. Diagrama PRISMA

3.2. Avaliação de qualidade e controlo de viés

Para a avaliação de qualidade e controlo de viés foi utilizada a escala de Newcastle-Ottawa (NOS) (figura 2). A NOS avalia três parâmetros de qualidade (seleção, comparabilidade e desfecho) divididos em oito itens específicos. Cada item na escala é pontuado com um ponto, exceto para comparabilidade, que pode ser adaptada ao tema específico de interesse, recebendo até dois pontos. Assim, o máximo para cada estudo é 9, sendo que estudos com menos de 5 pontos são identificados como apresentando alto risco de viés.⁹

Artigos (Referência)	Seleção (4 pontos)				Comparabilidade (2 pontos)	Desfecho (3 pontos)			Total (9/9)
	Adequação da coorte exposta	Representatividade da coorte	Seleção da coorte não exposta	Determinação da exposição		Comparabilidade das coortes	Avaliação do desfecho	Tempo de acompanhamento	
Prediction of Cerebral Vasospasm Using Early Stage Transcranial Doppler	1	1	0	1	1	1	1	0	6
Predictive value of the transcranial Doppler and mean arterial flow velocity for early detection of cerebral vasospasm in aneurysmal subarachnoid hemorrhage	1	0	1	1	1	1	1	1	7
Transcranial Doppler in the Detection of Cerebral Vasospasm After Subarachnoid Hemorrhage	1	0	1	1	1	1	1	1	7
Diagnostic value of cerebral vasospasm by transcranial doppler ultrasound in Vietnamese patients with subarachnoid hemorrhage	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Clinical diagnosis of cerebral vasospasm after subarachnoid hemorrhage by using transcranial Doppler sonography	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Prediction of Symptomatic Vasospasm In Patients with Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage Using Early Transcranial Doppler	1	0	1	1	1	1	1	1	7

Figura 2. Escala de Newcastle-Ottawa

3.3. Características gerais dos estudos

Os estudos foram feitos entre 2013 e 2024, com um estudo feito em 2013¹⁰, um feito em 2018¹, um feito em 2020¹³, um feito em 2021¹⁴, um feito em 2022¹² e um feito em 2024¹¹.

Quanto ao país de origem, cada estudo foi publicado em países diferentes, Japão¹⁰, China¹, Bangladesh¹¹, Vietnam¹², Equador¹³ e Egito¹⁴. Relativamente ao tipo de estudo, três são estudos observacionais prospetivos^{10,12,14}, dois são estudos observacionais retrospectivos^{1,13} e um é um estudo transversal¹¹. O número de pacientes incluídos nos estudos variou entre os 40¹⁴ e os 316¹². Um dos estudos¹ para além da intervenção com DTC, utilizou ASD para a confirmação de diagnóstico, três estudos^{10, 11, 12} utilizaram ATC, um estudo¹³ utilizou ATC e/ou

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasm cerebral?

ASD e um estudo¹⁴ utilizou ATC e ASD para a confirmação de diagnóstico de vasoespasm.

O resumo das características gerais dos estudos incluídos, encontra-se na tabela 2.

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasm cerebral?

Título	Autores e Ano	País	Tipo de estudo	Objetivo do estudo	Descrição da população	Intervenção	Outcome
Prediction of Cerebral Vasospasm Using Early Stage Transcranial Doppler¹⁰	Toi, H., Matsumoto, N., Yokosuka, K., Matsubara, S., Hirano, K., & Uno, M. (2013)	Japão	Estudo observacional prospectivo	Utilidade de DTC no diagnóstico precoce de vasoespasmos cerebrais após hemorragia subaracnoidea	45 pacientes com HSA	DTC nos dias 1, 3, 5, 7, 10 e 14 após a HSA e CTA para confirmação	Pacientes com VEC sintomático apresentaram VMF significativamente maior em comparação com os que não desenvolveram vasoespasm sintomático, especialmente a partir do 3º dia. Um valor de cut-off de 72,5 cm/s da VMF no 3º dia foi identificado como preditivo do VEC com sensibilidade de 71,4%, especificidade de 68,1% e precisão de 82,3%
Clinical diagnosis of cerebral vasospasm after subarachnoid hemorrhage by using transcranial Doppler sonography⁴	Li, D. D., Chang, J. Y., Zhou, C. X., & Cui, J. B. (2018)	China	Estudo Observacional Retrospectivo	Investigar a eficácia do DTC para o diagnóstico de VEC em pacientes com HSA comparando com ASD e analisar a correlação entre a gravidade da doença e a prevalência de VEC	90 Pacientes com HSA	DTC para monitorização das artérias cerebrais ASD para confirmação do diagnóstico	O estudo mostrou que a prevalência de vasoespasm foi de 87,78% detetada por ASD e 83,33% por DTC. A velocidade do fluxo sanguíneo aumentou gradualmente entre os dias 4 e 6, atingindo o pico entre os dias 7 e 9 após a HSA
Transcranial Doppler in the Detection of Cerebral Vasospasm After Subarachnoid Hemorrhage¹¹	Hakim, M., Kawnayn, G., Hassan, M. S., Uddin, M. N., Hasan, M., & Huq, M. R. (2024)	Bangladesh	Estudo Transversal	Avaliar o desempenho de TCD na deteção de VEC em pacientes com HSA	50 pacientes com HSA	DTC entre os dias 3 e 14 após HSA seguido de ATC no 14 dia ou mais cedo se doppler indicasse vasoespasm	O DTC detetou vasoespasm em 26% dos casos, enquanto o ATC detetou em 36%. O DTC apresentou alta especificidade (96,9%) e valor preditivo positivo (92,8%), mas menor sensibilidade (72,2%) e valor preditivo negativo (81,6%). A acurácia geral do DTC na deteção de vasoespasm cerebral foi de 88%.
Diagnostic value of cerebral vasospasm by transcranial doppler ultrasound in Vietnamese patients with subarachnoid hemorrhage¹²	Vo, H. K., Le, V. T., Nguyen, V. L., Dao, X. C., Duong, D. H., Trinh, T. L., Nguyen, V. T., Vo, H. L., Nguyen, C. H., Tran, V. L., Nguyen, A. T., Hoang, V. T., Truong, T. A., Nguyen, T. B., Chu, B. C., Le, T. M., Dao, T. T., Duong, T. H., Ha, H. Q., Trinh, T. P., ... Le, Q. C. (2022)	Vietnam	Estudo Observacional prospectivo	Avaliar o valor do DTC no diagnóstico de vasoespasmos em pacientes com HSA em vietnam	316 pacientes com HSA média de idade de 52,97 anos	Foram utilizados DTC e ATC para confirmação	O estudo detetou que o DTC teve uma sensibilidade de 95%, especificidade de 91%, e um valor preditivo positivo de 94% para diagnosticar vasoespasm. O vasoespasm foi identificado em 59,2% dos pacientes.
Prediction of Symptomatic Vasospasm in Patients with Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage Using Early Transcranial Doppler¹³	Scherle Matamoros, C. E., Samaniego, E. A., Sam, K., Roa, J. A., Nellar, J. P., & Rodríguez, D. R. (2020)	Equador	Estudo Retrospectivo longitudinal	Avaliar a eficácia e a precisão do DTC realizado nos primeiros 3 dias após a HSA para prever o desenvolvimento de vasoespasm sintomático	51 pacientes com HSA.	DTC nos primeiros 3 dias após a HSA e ATC ± ASD para confirmação	Os resultados mostraram que as VMFs medidas precocemente com DTC podem ser um indicador importante para prever o risco de desenvolvimento de VEC Os achados sugerem que o uso precoce de DTC pode ajudar a identificar pacientes em maior risco de desenvolver vasoespasm sintomático

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasm cerebral?

<p>Predictive value of the transcranial Doppler and mean arterial flow velocity for early detection of cerebral vasospasm in aneurysmal subarachnoid hemorrhage¹⁴</p>	<p>Esmael, A., Flifel, M. E., Elmarakby, F., & Belal, T. (2021)</p>	<p>Egito</p>	<p>Estudo observacional prospectivo</p>	<p>Avaliar a eficácia do DTC na detecção precoce de vasoespasm cerebral em pacientes com HSA e determinar os valores de cut-off para a VMF que predizem o desenvolvimento de vasoespasm.</p>	<p>O estudo incluiu 40 pacientes com HSA</p>	<p>DTC em 5 dias diferentes ao longo de 10 dias, medindo as VMF nas artérias cerebrais e ATC e ASD para confirmação</p>	<p>O estudo demonstrou que valores de VMF ≥ 81 cm/s na ACM aumentam o risco de vasoespasm em quase 5 vezes, ≥ 63 cm/s na ACA aumentam o risco em 3 vezes, e ≥ 42 cm/s na ACP aumentam o risco em 2 vezes.</p>
---	---	--------------	---	--	--	---	---

Tabela 2. Características gerais dos estudos

3.4. Descrição individualizada dos resultados

Esta revisão sistemática visa integrar e analisar os estudos disponíveis sobre a eficácia do DTC na identificação precoce e rápida do VEC, agrupando os resultados em cinco temas principais: a progressão temporal do vasoespasmo cerebral, a correlação entre a gravidade do vasoespasmo e os sintomas clínicos dos pacientes, o desempenho diagnóstico do DTC, a comparação com outros métodos de imagem e por fim a correlação clínica entre os achados do DTC.

3.4.1. Progressão temporal

Li D., et al¹, Toi H.¹⁰, et al e Emael A.¹⁴, et al observaram que a velocidade média do fluxo (VMF) sanguíneo nas artérias cerebral média (ACM), cerebral anterior (ACA), basilar (AB) e vertebral (AV) aumentou progressivamente após o terceiro dia, atingindo um pico em torno do sétimo dia. Li D., et al¹ verificaram que após o pico, as velocidades de fluxo começaram a diminuir entre o décimo e o décimo segundo dia. Por outro lado, Toi H., et al¹⁰ identificaram que pacientes que não desenvolveram VEC sintomático não demonstraram este aumento progressivo na VMF, devido a ausência estreitamento significativo do lúmen das artérias cerebrais. Este estreitamento resulta da vasoconstrição que ocorre progressivamente nos pacientes com VEC sintomático, levando ao aumento da velocidade de fluxo detetado pelo DTC.

3.4.2. Gravidade e Sintomas clínicos

Li D., et al¹ observaram que a gravidade do vasoespasmo está intimamente relacionada com o estado clínico do paciente, medido pelas escalas de Hunt-Hess e Fisher modificada. Pacientes que apresentaram pontuações mais altas nestas escalas mostraram velocidades de fluxo significativamente maiores, indicando um vasoespasmo moderado ou grave.

De acordo com a classificação de gravidade do VEC, uma VMF da ACM inferior a 120 cm/s tem uma menor probabilidade de desenvolver vasoespasmo, o vasoespasmo moderado é indicado por uma VMF na ACM entre 140 e 200 cm/s

e o vasoespasmo grave por velocidades acima de 200 cm/s. No estudo de Li D., et al¹, pacientes classificados com grau IV e V na escala de Hunt-Hess - que inclui sintomas como hemiplegia, coma e rigidez, apresentaram velocidades médias de fluxo na ACM com variação entre 170-183 cm/s. Estes achados apoiam os padrões de classificação de Fisher modificada, em que os pacientes com graus elevados, apresentam maior probabilidade de desenvolver VEC grave.

Já a análise de Vo H., et al¹² relativa a associação entre sintomas clínicos e vasoespasmo revelou que a hemiplegia emergiu como o sintoma mais indicativo de vasoespasmo, apresentando uma sensibilidade de 34% e uma especificidade de 92%. Outros sintomas clínicos como coma, confusão e sonolência, mostraram desempenhos diagnósticos inferiores, com sensibilidade abaixo de 35%.

3.4.3. Desempenho diagnóstico do DTC

3.4.3.1. Sensibilidade e Especificidade

Vo H., et al¹² verificaram que o DTC apresentou uma sensibilidade de 95% (IC 95%: 91-98%), o que significa que foi capaz de detetar corretamente 95% dos casos de vasoespasmo identificados pela ATC. Por outro lado, a especificidade de 91% (IC 95%: 85-96%) indica que o DTC foi igualmente eficiente em evitar falsos positivos, identificando corretamente 91% dos pacientes que, de facto, não apresentaram vasoespasmo. No entanto, no estudo de Hakim M., et al¹¹ a sensibilidade do DTC foi de 72,2%, por outro lado, a especificidade de 96,9%.

3.4.3.2. Valores preditivos e valores de cut-off preditivos de MFV

No estudo de Vo H., et al¹², o DTC apresentou um valor preditivo positivo (VPP) de 94%, o que significa que, quando o DTC deteta vasoespasmo, há uma probabilidade de 94% de que o diagnóstico seja confirmado pelo ATC. O valor preditivo negativo (VPN) de 93% indica que, quando o DTC não deteta vasoespasmo, há uma probabilidade de 93% de que o paciente realmente não tenha a condição. No estudo de Hakim M., et al¹¹, o TCD apresentou um VPP de 92,8% enquanto o VPN foi de 81,6%.

Toi H., et al¹⁰ identificaram que uma VMF de 72,5 cm/s no terceiro dia após a HSA foi o melhor valor de *cut-off* para prever o desenvolvimento de VEC sintomático. Esse valor foi associado a uma sensibilidade de 71,4%, especificidade de 68,1%, e uma acurácia de 82,3%.

Scherle M., et al¹³ demonstraram que pacientes com VMF ≥ 74 cm/s na ACM nos primeiros três dias após a HSA tiveram um risco seis vezes maior de desenvolver VEC sintomático, com sensibilidade de 71% e uma especificidade de 73%. De forma semelhante, uma VMF ≥ 64 cm/s na ACA estava associada a um risco nove vezes maior de VEC sintomático, com sensibilidade de 71% e especificidade de 87%.

Emael A., et al¹⁴ na ACM mostraram que uma VMF ≥ 81 cm/s estava associada a um risco cinco vezes maior de desenvolver vasoespasmo ($p < 0.01$). Este valor de *cut-off* na ACM apresentou uma sensibilidade de 74% e especificidade de 82%, com um VPP de 88%. Na ACA uma VMF ≥ 63 cm/s foi associada a um risco três vezes maior de vasoespasmo ($p < 0.01$), com uma sensibilidade de 70%, especificidade de 77%, e um VPP de 84%. Para a artéria cerebral posterior (ACP), uma VMF ≥ 42 cm/s foi associada a um risco duas vezes maior de vasoespasmo ($p < 0.05$). Embora a sensibilidade de 62% e a especificidade de 71% sejam inferiores às observadas nas artérias ACM e ACA, com um VPP de 78%.

3.4.4. Desempenho comparativo entre TCD e ATC

Vo H., et al¹² verificaram que o DTC foi capaz de identificar corretamente 95,2% dos casos de vasoespasmo confirmados pela ATC. Observaram também que 91,5% dos pacientes sem vasoespasmo na ATC foram corretamente identificados como negativos pelo DTC.

No estudo de Hakim M., et al¹¹, o DTC detetou vasoespasmo em 26% dos pacientes, enquanto a ATC detetou vasoespasmo em 36%. A concordância entre os resultados do DTC e ATC foi significativa ($p < 0.001$). O DTC demonstrou alta

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasma cerebral?

especificidade (96,9%) e VPP (92,8%), mas menor sensibilidade (72,2%) e VPN (81,6%). A acurácia geral do DTC para a detecção de vasoespasma foi de 88%.

3.4.5. Correlações clínicas e vasoespasma

Toi H., et al¹⁰ verificaram que o vasoespasma sintomático foi observado em 24,4% dos pacientes no estudo. A presença de VEC sintomático estava fortemente associada a um aumento na VMF.

Curiosamente, Li D., et al¹ não encontraram correlação significativa entre a prevalência de VEC e fatores demográficos ou de risco como idade, gênero, tabagismo, alcoolismo e hipertensão ($p > 0,05$).

Capítulo 4

4. Discussão

A hemorragia subaracnóide é uma condição clínica grave, frequentemente associada a complicações que podem resultar em défices neurológicos permanentes e até mesmo à morte. O vasoespasma cerebral é uma complicação que pode levar a declínio neurológico e enfartes cerebrais, destacando-se assim como a principal causa de alta mortalidade e mau prognóstico de HSA^{10,15,17}. Neste contexto, o Doppler Transcraniano emergiu como uma ferramenta alternativa e promissora de diagnóstico, oferecendo a capacidade de monitorização do fluxo sanguíneo cerebral de forma não invasiva e em tempo real.⁶

Esta revisão sistemática visa analisar a eficácia do DTC na deteção precoce do VEC, em pacientes com HSA, integrando seis estudos publicados entre 2013 e 2024. Estes estudos foram realizados em diferentes países, incluindo Japão¹⁰, China¹, Bangladesh¹¹, Vietnam¹², Equador¹³ e Egito¹⁴, refletindo assim a diversidade de contextos clínicos e populações analisadas.

Os estudos avaliados utilizaram desenhos observacionais prospetivos, transversais e retrospectivos, com o número de pacientes variando entre 40 e 316. Todos os estudos compararam o DTC com métodos de diagnósticos *gold-standard*, como a angiografia digital por subtração e a angiografia por tomografia computadorizada, para validar os achados do VEC.

Três estudos analisados mostraram uma progressão temporal do VEC semelhante, com aumento das velocidades de fluxo sanguíneo nas artérias cerebral média, cerebral anterior, basilar e vertebral a partir do terceiro dia após a HSA, atingindo um pico entre o sétimo e décimo dia. Li D., et al.¹, Toi H., et al.¹⁰ e Emael A., et al.¹⁴ relataram estes padrões de evolução, sendo que Li D., et al.¹ observaram uma diminuição das VMF após o pico, estes achados são consistentes com os achados clássicos descritos por Sobey & Farad²³, que também identificaram um padrão similar, o que valida o uso do DTC para o acompanhamento dinâmico do VEC.

Em relação à gravidade do vasoespasmo, foi verificada uma forte correlação entre o aumento das VMF e o estado clínico dos pacientes. Li D., et al.¹ relataram que pacientes com scores mais elevados nas escalas de Hunt-Hess e Fisher modificada apresentaram VMF significativamente maiores. Pacientes com pontuações mais altas nas escalas apresentaram vasoespasmos moderados a graves, com velocidades de fluxo que excediam os 170-183 cm/s na MCA, o que está em concordância com os achados de estudos anteriores de van der Harst et al.²⁹, e Darsaut et al.¹⁶, que apontaram que VMF elevadas no DTC estão associadas a pior prognóstico neurológico.

Apesar desta associação, a correlação entre os sintomas clínicos e o VEC foi menos clara. Vo H., et al.¹² relataram que a hemiplegia foi o sintoma clínico mais indicativo de vasoespasmo, com uma especificidade de 92%, mas outros sintomas, como coma e confusão, apresentaram sensibilidade limitada. Estes achados sugerem que, embora o quadro clínico deva ser considerado, não é suficientemente sensível para detecção precoce do VEC, especialmente em comparação com as medições objetivas do DTC. Estudos anteriores, como os de Kenny L., et al.³⁰ e Gaillard F., et al.³¹ corroboram esta observação, mostrando que os sintomas clínicos podem manifestar-se tardiamente ou não se manifestar, enquanto o DTC pode detetar alterações clinicamente ocultas precocemente.

Quanto ao desempenho diagnóstico do DTC, Vo H., et al.¹² relataram uma sensibilidade de 95% e especificidade de 91%, demonstrando que o DTC é altamente eficaz na detecção de casos confirmados de VEC pela angiografia por tomografia computadorizada (ATC). Em contrapartida, Hakim M., et al.¹¹ observaram uma sensibilidade menor, de 72,2%, mas uma especificidade alta, de 96,9%, sugerindo que o DTC pode ser menos eficaz na detecção de casos de VEC menos pronunciados. Estes achados vão ao encontro ao que foi descrito por Amr A., et al.²⁰ e Suneesh T., et al.¹⁹, que verificaram que a variação nestes parâmetros pode ser explicada pelas diferenças nos valores de *cut-off* adotados entre os estudos, bem como pela experiência dos operadores na condução dos exames.

Os valores preditivos encontrados apresentam grande relevância clínica. Vo H., et al.¹² relataram um VPP de 94% e um VPN de 93%, sugerindo que o DTC tem

alta precisão tanto na confirmação quanto na exclusão do VEC. Da mesma forma, Hakim M., et al.¹¹ relataram um VPP de 92,8%, o que reforça a confiabilidade do DTC na identificação do vasoespasmo. No entanto, o VPN de 81,6% verificado indica que, em casos de vasoespasmo leve ou em zonas distais, o DTC pode subestimar a presença da condição. Conforme sugerido por D. Newell & H. Winn^{35,36}, o DTC tem menor sensibilidade na detecção de vasoespasmo nos ramos mais distais, devido à profundidade dos vasos e da redução da intensidade do fluxo nestas regiões mais periféricas, o que pode dificultar uma avaliação completa, especialmente nos vasoespasmos distais.

Ao comparar o DTC com a ATC, o DTC demonstrou alta concordância com este exame *gold-standard* em vários estudos. Vo H., et al.¹² relataram que o DTC foi capaz de identificar corretamente 95,2% dos casos de VEC confirmados pela ATC, enquanto Hakim M., et al.¹¹ observaram uma concordância significativa entre os dois métodos. Contudo, a ATC continua superior em termos de sensibilidade, especialmente em pacientes com vasoespasmo leve, como observado no estudo de Greenberg E., et al.³², que destacou a vantagem da ATC na identificação de vasoespasmos pequenos e em regiões mais distais, que podem não ser detetados pelo DTC. Ainda assim, a portabilidade, o custo reduzido e a natureza não invasiva do DTC tornam-no uma ferramenta valiosa, especialmente em ambientes com recursos limitados, onde a ATC pode não estar prontamente disponível.

Finalmente, a correlação clínica entre os achados do DTC e a evolução do vasoespasmo foi observada em vários estudos. Toi H., et al.¹⁰ relataram que pacientes com vasoespasmo sintomático apresentaram aumentos significativos nas VMF, enquanto Li D., et al.¹ não encontraram correlação entre a prevalência de VEC e fatores demográficos, como idade, gênero ou histórico de hipertensão, um achado que contraria estudos anteriores, como o de Findlay et al.,² que encontraram associação entre fatores de risco como hipertensão, tabagismo, diabetes mellitus, uso de cocaína e maior risco de VEC. Sugerindo desta forma que o DTC pode fornecer informações importantes e independentes dos fatores de risco tradicionais, focando-se essencialmente na hemodinâmica cerebral.

4.1.1. Limitações da revisão

É imprescindível considerar as limitações que podem afetar a fiabilidade dos resultados desta revisão. Esta secção serve para analisar as fragilidades metodológicas, a variabilidade nas amostras e a falta de padronização nos protocolos de aplicação do DTC. Ao destacar estas questões, procurou-se oferecer uma visão crítica que permita uma compreensão mais profunda das implicações dos resultados e que oriente futuras investigações nesta área.

O número de pacientes incluídos nos estudos variou consideravelmente, entre 40 e 316 participantes. Tamanhos de amostra reduzidos podem resultar em resultados menos confiáveis e aumentar o risco de viés de seleção. Para além disso, os estudos analisados apresentam uma heterogeneidade significativa nos seus desenhos, que incluem estudos observacionais prospetivos, retrospectivos e transversais. Esta variabilidade pode dificultar a comparação direta dos resultados e a generalização dos achados.

Outro ponto crítico é a ausência de protocolos padronizados para a realização do DTC, incluindo tempos de avaliação, locais de medição e critérios de interpretação, o que pode levar à inconsistência dos resultados. A falta de uniformização de protocolo dificulta a aplicação dos resultados em diferentes contextos clínicos e torna desafiante o estabelecimento de diretrizes claras para a prática clínica.

A avaliação dos *outcomes* clínicos em alguns estudos pode ser limitada, especialmente na correlação entre os achados do DTC e os resultados clínicos dos pacientes. A falta de acompanhamento a longo prazo em muitos estudos impede uma compreensão abrangente sobre como o uso do DTC tem impacto nos desfechos clínicos e a morbilidade associada ao vasoespasmos.

Por último, apesar de a escala Newcastle-Ottawa (NOS) ter sido utilizada para avaliar a qualidade dos estudos, alguns dos artigos incluídos apresentaram limitações metodológicas, como deficiências na seleção dos participantes.^{11,13,14}

4.1.2. Implicações clínicas

A eficácia do DTC na detecção do VEC depende, em grande parte, da formação e capacitação dos profissionais de saúde que o utilizam²⁰. Portanto, é de extrema importância desenvolver programas de treino que garantam que médicos e técnicos tenham preparação para realizar o exame e interpretar os resultados com precisão. A capacitação dos profissionais melhoraria a qualidade do atendimento e contribuiria para a padronização do uso do DTC em diferentes ambientes clínicos.

A capacidade do DTC em monitorizar o fluxo sanguíneo cerebral em tempo real oferece uma oportunidade para a avaliação contínua do estado vascular dos pacientes²². Esta monitorização permite uma abordagem proativa, onde pequenas alterações nos parâmetros hemodinâmicos cerebrais podem ser rapidamente identificadas e abordadas¹⁶. A implementação do DTC em unidades de cuidados intensivos pode ser particularmente valiosa, garantindo que os pacientes em risco sejam monitorados de perto e tratados de forma adequada²². Adicionalmente, o DTC apresenta benefícios económicos significativos, quando comparado com métodos de diagnóstico invasivos, o DTC tem custos mais baixos e um menor risco de complicações associadas^{21,22}. Esta característica é especialmente relevante em ambientes com recursos limitados, onde o acesso a tecnologias mais complexas pode ser restrito. Desta forma, o uso do DTC pode democratizar o acesso ao diagnóstico precoce e, conseqüentemente, melhorar os desfechos clínicos de pacientes.

Capítulo 5

5. Conclusão

Em resposta à pergunta central da pesquisa, ficou claro que o DTC é uma ferramenta diagnóstica promissora para detetar o vasoespasmo. Apesar das limitações dos estudos analisados, os resultados mostram que o DTC pode monitorizar, de forma não invasiva e em tempo real, as mudanças no fluxo sanguíneo cerebral. As taxas de sensibilidade e especificidade apresentadas em diferentes pesquisas destacam o DTC como uma alternativa valiosa, especialmente em emergências.

O DTC não se mostra apenas eficaz na identificação precoce do VEC, mas também se alinha nas tendências atuais da medicina, que buscam reduzir intervenções invasivas e otimizar a monitorização dos pacientes. A possibilidade de realizar avaliações contínuas à cabeceira é especialmente benéfica em unidades onde a rapidez nas intervenções é essencial para preservar a função neurológica.

5.1. Futuras Pesquisas

Para as futuras pesquisas recomenda-se a padronização de protocolos de uso e interpretação através da instituição de *guidelines* e de valores de *cut-off* de VMF, para a garantia de resultados mais consistentes e confiáveis, facilitando sua aplicação clínica em diferentes contextos clínicos.

Para além disso, recomenda-se também a realização de estudos clínicos randomizados e longitudinais em larga escala para avaliar a eficácia do DTC. A aplicação desta abordagem permitirá entender melhor como o DTC pode ser adaptado às necessidades específicas dos pacientes.

A inclusão de novas tecnologias, como inteligência artificial na análise de dados obtidos pelo DTC pode aprimorar a interpretação e a exatidão dos resultados. Sugere-se, deste modo, estudos que explorem estas abordagens que podem levar

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

a diagnósticos mais precisos e à identificação mais rápida de vasoespasmo cerebral após a hemorragia subaracnoide.

Bibliografia

1. Li DD, Chang JY, Zhou CX, Cui JB. Clinical diagnosis of cerebral vasospasm after subarachnoid hemorrhage by using transcranial Doppler sonography. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2018;22(7):2029-2035.
2. Findlay JM, Nisar J, Darsaut TE. Cerebral vasospasm: a review. *Can J Neurol Sci.* 2016;43(1):15–32. doi:10.1017/cjn.2015.288
3. Hoh BL, Ko NU, Amin-Hanjani S, Chou SH-Y, Cruz-Flores S, Dangayach NS, Derdeyn CP, Du R, Hänggi D, Hets SW, Ifejika NL, Johnson R, Keigher KM, Leslie-Mazwi TM, Lucke-Wold B, Rabinstein AA, Robicsek SA, Stapleton CJ, Suarez JI, Tjoumakaris SI, Welch BG. 2023 guideline for the management of patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a guideline from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke.* 2023;54(7)–e370. doi:10.1161/STR.000000000000436.
4. Kassell NF, Sasaki T, Colohan AR, Nazar G. Cerebral vasospasm following aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Stroke.* 1985;16(4):562–72. doi:10.1161/01.STR.16.4.562
5. Kim JH, Yi JH, Chang CH, Jung YJ. Evaluation of the accuracy in maximum intensity projection images of cerebral computed tomographic angiography for the diagnosis of cerebral vasospasm following subarachnoid hemorrhage, in comparison to digital subtraction angiography. *J Cerebrovasc Endovasc Neurosurg.* 2018;20(1):5–13. doi:10.7461/jcen.2018.20.1.5.
6. Purkayastha S, Sorond F. Transcranial Doppler ultrasound: technique and application. *Semin Neurol.* 2012 Sep;32(4):411-20. doi:10.1055/s-0032-1331812. Epub 2013 Jan 29. PMID: 23361485; PMCID: PMC3902805.
7. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ.* 29 de março de 2021;n71.
8. Donato H, Donato M. [Stages for Undertaking a Systematic Review]. *Acta Med Port.* 29 de março de 2019;32(3):227–35.
9. Luchini C, Stubbs B, Solmi M, Veronese N. Assessing the quality of studies in meta-analyses: Advantages and limitations of the Newcastle Ottawa Scale. *World J Meta-Anal.* 26 de agosto de 2017;5(4):80–4.
10. Toi H, Matsumoto N, Yokosuka K, Matsubara S, Hirano K, Uno M. Prediction of cerebral vasospasm using early stage transcranial Doppler. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2013;53(6):396–402.
11. Hakim M, Kawnayn G, Hassan MS, Uddin MN, Hasan M, Huq MR. Transcranial Doppler in the Detection of Cerebral Vasospasm After Subarachnoid Hemorrhage. *Cureus.* junho de 2024;16(6):e61569.

12. Vo HK, Le VT, Nguyen VL, Dao XC, Duong DH, Trinh TL, et al. Diagnostic value of cerebral vasospasm by transcranial doppler ultrasound in Vietnamese patients with subarachnoid hemorrhage. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* março de 2022;26(6):1939–44.
13. Scherle Matamoros CE, Samaniego EA, Sam K, Roa JA, Nellar JP, Rodríguez DR. Prediction of Symptomatic Vasospasm in Patients with Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage Using Early Transcranial Doppler. *J Vasc Interv Neurol.* janeiro de 2020;11(1):19–26.
14. Esmael A, Flifel ME, Elmarakby F, Belal T. Predictive value of the transcranial Doppler and mean arterial flow velocity for early detection of cerebral vasospasm in aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Ultrasound Leeds Engl.* novembro de 2021;29(4):218–28.
15. Ciurea AV, Palade C, Voinescu D, Nica DA. Subarachnoid hemorrhage and cerebral vasospasm - literature review. *J Med Life.* 15 de junho de 2013;6(2):120–5.
16. Darsaut TE, Keough MB, Chan AM, Farzin B, Findlay JM, Chow MM, et al. Transcranial Doppler Velocities and Angiographic Vasospasm after SAH: A Diagnostic Accuracy Study. *AJNR Am J Neuroradiol.* janeiro de 2022;43(1):80–6.
17. Sloan MA, Burch CM, Wozniak MA, Rothman MI, Rigamonti D, Permutt T, et al. Transcranial Doppler detection of vertebrobasilar vasospasm following subarachnoid hemorrhage. *Stroke.* novembro de 1994;25(11):2187–97.
18. Bacigaluppi S, Zona G, Secci F, Spena G, Mavilio N, Brusa G, et al. Diagnosis of cerebral vasospasm and risk of delayed cerebral ischemia related to aneurysmal subarachnoid haemorrhage: an overview of available tools. *Neurosurg Rev.* 1 de outubro de 2015;38(4):603–18.
19. Thilak S, Brown P, Whitehouse T, Gautam N, Lawrence E, Ahmed Z, et al. Diagnosis and management of subarachnoid haemorrhage. *Nat Commun.* 29 de fevereiro de 2024;15(1):1850.
20. Abdulazim A, Heilig M, Rinkel G, Etminan N. Diagnosis of Delayed Cerebral Ischemia in Patients with Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage and Triggers for Intervention. *Neurocrit Care.* outubro de 2023;39(2):311–9.
21. Majewska P, Hara S, Gulati S, Solheim O. Association between transcranial Doppler vasospasm and functional outcome after subarachnoid hemorrhage. *Brain Circ.* 2021;7(4):271–6.
22. D'Andrea A, Fabiani D, Cante L, Caputo A, Sabatella F, Riegler L, et al. Transcranial Doppler ultrasound: Clinical applications from neurological to cardiological setting. *J Clin Ultrasound.* 2022;50(8):1212–23.
23. SUBARACHNOID HAEMORRHAGE: WHAT HAPPENS TO THE CEREBRAL ARTERIES? [Internet]. [citado 18 de novembro de 2024]. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1440-1681.1998.tb02337.x>

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

24. Macdonald RL, Schweizer TA. Spontaneous subarachnoid haemorrhage. *The Lancet*. fevereiro de 2017;389(10069):655–66.
25. Claassen J, Park S. Spontaneous subarachnoid haemorrhage. *The Lancet*. 10 de setembro de 2022;400(10355):846–62.
26. Lee KH, Lukovits T, Friedman JA. «Triple-H» therapy for cerebral vasospasm following subarachnoid hemorrhage. *Neurocrit Care*. 2006;4(1):68–76.
27. Robba C, Busl KM, Claassen J, Diringer MN, Helbok R, Park S, et al. Contemporary management of aneurysmal subarachnoid haemorrhage. An update for the intensivist. *Intensive Care Med*. maio de 2024;50(5):646–64.
28. Etminan N, Chang HS, Hackenberg K, de Rooij NK, Vergouwen MDI, Rinkel GJE, et al. Worldwide Incidence of Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage According to Region, Time Period, Blood Pressure, and Smoking Prevalence in the Population: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Neurol*. 1 de maio de 2019;76(5):588–97.
29. van der Harst JJ, Elting JWJ, Hijlkema J, Veeger NJGM, van Donkelaar CE, van Dijk JMC, et al. Diagnostic value of transcranial doppler to predict delayed cerebral ischemia after aneurysmal subarachnoid hemorrhage : To predict delayed cerebral ischemia. *Acta Neurochir (Wien)*. 29 de junho de 2024;166(1):278.
30. Li K, Barras CD, Chandra RV, Kok HK, Maingard JT, Carter NS, et al. A Review of the Management of Cerebral Vasospasm After Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. *World Neurosurg*. junho de 2019;126:513–27.
31. Cerebral vasospasm following subarachnoid hemorrhage | Radiology Reference Article | Radiopaedia.org [Internet]. [citado 18 de novembro de 2024]. Disponível em: <https://radiopaedia.org/articles/cerebral-vasospasm-following-subarachnoid-haemorrhage?lang=us>
32. Greenberg ED, Gold R, Reichman M, John M, Ivanidze J, Edwards AM, et al. Diagnostic Accuracy of CT Angiography and CT Perfusion for Cerebral Vasospasm: A Meta-Analysis. *Am J Neuroradiol*. 1 de novembro de 2010;31(10):1853–60.
33. Lau VI, Arntfield RT. Point-of-care transcranial Doppler by intensivists. *Crit Ultrasound J*. 13 de outubro de 2017;9(1):21.
34. Subarachnoid Hemorrhage, Vasospasm, and Delayed Cerebral Ischemia - Practical Neurology [Internet]. [citado 18 de novembro de 2024]. Disponível em: <https://practicalneurology.com/articles/2019-jan/subarachnoid-hemorrhage-vasospasm-and-delayed-cerebral-ischemia>.
35. Newell DW, Winn HR. Transcranial Doppler In Cerebral Vasospasm. *Neurosurg Clin N Am*. abril de 1990;1(2):319–28.
36. Newell DW, Winn RH. Evaluation of Vasospasm Using Transcranial Doppler: *Contemp Neurosurg*. 1989;11(18):1–6.
37. Stojanović, Kostić, Mitić, Berilažić, Radisavljević. Association between Circle of Willis Configuration and Rupture of Cerebral Aneurysms. *Medicina* [Internet].

Será o ecodoppler transcraniano uma possível ferramenta de diagnóstico de vasoespasmo cerebral?

2019 Jul 3 [cited 2019 Sep 18];55(7):338. Available from:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6681035/>