

“Uso de realidade virtual para avaliação do campo visual de pacientes glaucomatosos: revisão sistemática”

Douglas R. da Costa, M.D

Departamento de Oftalmologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC FMUSP)

Introdução

No meio médico o uso de realidade virtual (RV) e suas vertentes tem ganhado aplicações diversas com a melhoria dos hardwares e softwares(1, 2). A utilização desta tecnologia abarcam a educação médica, como ensino de técnicas cirúrgicas com modelagens realistas, tratamento de doenças com a cirurgia robótica, dessensibilização de traumas em ambientes realistas, e muitas outras aplicações ainda em desenvolvimento. Este mercado em saúde está estimado a atingir um valor de cerca de U\$20 bilhões ao fim de 2023(2-4). Por mais que o termo realidade virtual seja o mais conhecido popularmente, este não deve ser confundido com outros como a realidade aumentada. A realidade virtual pode ser descrita como imersiva (em que o usuário é totalmente absorvido e imerso) e semi-imersiva (em que há elementos de RV mas os usuários estão cientes do ambiente físico ao redor). Enquanto a realidade aumentada combina elementos do mundo real com elementos virtuais, sobrepondo-os.

Em Oftalmologia, em que o senso da visão é o mote principal de estudos, o uso de ambientes virtuais pode ser útil para facilitar o acesso aos equipamentos médicos, como também para aperfeiçoar metodologias tradicionais de diagnóstico(5). Por se tratar de uma tecnologia móvel e de fácil uso, pode ser levada a locais remotos para avaliação de populações que possivelmente não teriam alcance aos equipamentos médicos necessários(6, 7). Também podem ser utilizadas por pacientes em situações críticas (acamados) ou com doenças neuromuscular e esqueléticas que impossibilitam que este realize certos exames que demandam uma certa postura e posição para sua realização. A maioria dos exames oftalmológicos computadorizados requerem tal postura, em que o paciente deve posicionar o queixo e a testa em certos apoios, tornando-os impossíveis de serem realizados por estes pacientes.

Na doença glaucomatosa, em que as fibras nervosas da retina são lesadas, o paciente perde progressivamente regiões de seu campo visual, podendo levar a cegueira se diagnosticada tardiamente e tratada sub otimamente(8, 9). Uma das formas principais de se avaliar a progressão desta doença é a partir da avaliação do campo visual (também chamada de perimetria)(10-14). O exame de perimetria considerado padrão ouro atualmente é a perimetria automatizada padronizada, em que o paciente deve permanecer em uma posição sentada, com o queixo e testa apoiadas, por cerca de 6 a 20 minutos, impossibilitando a sua execução por certos pacientes. Além disso, os aparelhos usados em ambientes médicos e ambulatoriais são

de alto custo, e podem não existir em certas regiões carentes. Por estes e outros motivos, diversos dispositivos tem sido criados utilizando tecnologias de RV para avaliar os danos perimétricos causados pelo glaucoma. Esta revisão sistemática foca no uso de metodologias de realidade virtual para avaliação da perimetria de pacientes glaucomatosos, para screening, diagnóstico da doença, acompanhamento do paciente e uso em ambientes não hospitalares. A discussão das tecnologias disponíveis proverá o estado da arte atual (*state of the art - SOTA*) para que as lacunas disponíveis possam ser abordadas futuramente.

Métodos

O processo de seleção de artigos foi iniciado após a conclusão e aceite do protocolo de condução da RS, que consta do objetivo da RS, questões de pesquisa, seleção de fontes, palavras chaves e strings utilizadas, listagem de fontes, e critérios de inclusão e exclusão dos artigos encontrados, tanto como a sumarização dos resultados a serem extraídos dos artigos selecionados. As fontes pesquisadas foram as bases do *Pubmed*, *IEEE Xplore Digital Library*, *Association for Computing Machinery (ACM Digital Library)*, *Web of Science* e *Scopus*. As strings utilizadas foram, respectivamente: "virtual reality" AND "glaucoma" AND "perimetry"; "virtual reality" OR "augmented reality" AND "glaucoma" AND "perimetry"; [Keywords: virtual reality] AND [Keywords: glaucoma] AND [Keywords: perimetry] AND [E-Publication Date: (01/01/2006 TO 10/31/2023)]; ((AK=(virtual reality)) AND AK=(glaucoma)) AND AK=(perimetry); TITLE-ABS-KEY (virtual AND reality) AND TITLE-ABS-KEY-AUTH (glaucoma) AND TITLE-ABS-KEY (perimetry) AND PUBYEAR > 2005 AND PUBYEAR < 2024. Para todas, os filtro de período de publicação entre Janeiro/2006 a Novembro/2023 foi utilizado.

Os critérios de inclusão e exclusão foram os mesmos para todos os artigos avaliados. Os estudos deveriam necessariamente envolver uso de realidade virtual na avaliação da perimetria de pacientes glaucomatosos, em qualquer modalidade de uso, como no acompanhamento clínico da doença, screening, tele-medicina ou acompanhamento à distância (uso em domicílio). Os artigos completos deveriam estar disponíveis ao publico, nas línguas inglesa ou portuguesa. Estudos não primários, ou que envolvessem o uso dessa tecnologia em outra área da oftalmologia que não a perimetria em pacientes glaucomatosos, foram excluídos.

Todos os artigos encontrados nas bases foram inicialmente filtrados por título e abstract. Após, os restantes foram lidos na íntegra, resumidos e extraídas as principais informações quanto ao tipo do estudo, metodologia, hipóteses principais e secundárias, variáveis dependentes e independentes, numero de participantes, e os materiais utilizados, incluindo os devices de realidade virtual, softwares, e equipamentos oftalmológicos usados como comparação, se houvesse. Caso o artigo apresentasse inconsistências não detectadas na primeira filtragem, este foi excluído e devidamente reportado como tal.

D.R.C. e G.R.G realizaram a busca pelas fontes de forma independente para realizar o screening dos títulos e abstracts. Os artigos em consenso foram incluídos para a segunda filtragem e, caso houvesse discordância, a discussão com um supervisor (X.X.X) foi realizada.

Resultados

Um total de 77 títulos foram encontrados. Deste, 30 foram extraídos da base *Pubmed*, 3 da *IEEE Xplore Digital Library*, 1 da *ACM*, 8 da *Web of Science*, e 40 da *Scopus*. Ao fim, 21 artigos foram incluídos para extração de dados e confecção da revisão sistemática. Os estudos majoritariamente realizaram comparações dos dispositivos de realidade virtual com os métodos tradicionais de perimetria considerados padrão ouro (16). Dois estudos focaram na descrição da tecnologia do aparelho e sua construção, dois deles testaram a viabilidade do uso dos aparelhos sem orientação presencial, e um descreveu o uso de inteligência artificial na melhoria do algoritmo empregado pelo software na realização da perimetria com realidade virtual.

Os principais achados sumarizados, tanto quanto breve discussão dos estudos podem ser encontrados na Tabela 1.

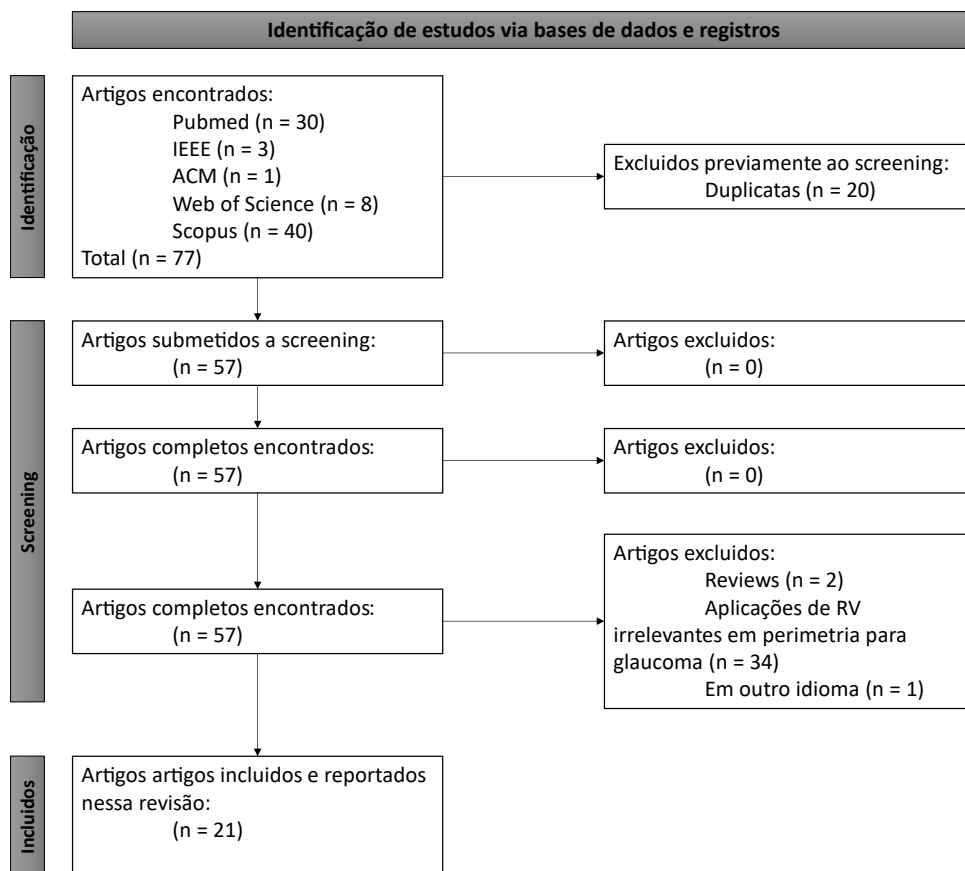


Tabela 1. Sumário dos principais achados dos artigos incluídos

Ano	Objetivo	Amostra	Device	Técnica do device	Técnica comparada	Achados principais	Referência
2014	Comparar o VirtualEye ao exame padrão ouro	<i>N</i> = 99	VirtualEye	Full Threshold 24-2	24-2 Full Threshold	Diferenças sistemáticas mínimas entre os 2 modos. - Um deslocamento sistemático (de 4 a 6 dB) para sensibilidades mais baixas em dispositivos de RV, principalmente na faixa de dB mais alta. - Teste de Usabilidade: A perimetria de RV foi preferida em relação ao HFA II porque é mais confortável e mais fácil de usar.	<i>D. Wroblewski(15)</i>
2016	Comparar a perimetria de pacientes glaucomatosos com FAP ao padrão ouro	<i>N</i> = 120	Fundus Automated Perimetry (FAP)	24-2 FAP	24-2	- Diferença média de sensibilidade entre FAP e HFA foi -1,0 dB ($p < 0,001$). - Diferença não significativa para MD (+0,27 dB) e PSD (+0,48 dB). - Diferença significativa para VFI (+2,4%, $p = 0,003$). - Sensibilidade média menor com FAP (-1 dB). Diferenças pequenas nos índices globais, tornando os perímetros equivalentes clinicamente. FAP indica danos glaucomatosos mais graves, possivelmente devido à compensação ativa de movimentos oculares.	<i>P. Fogagnolo(16)</i>
2017	Comparar um RV com smartphone para perimetria em pacientes glaucomatosos	<i>N</i> = 10	Trust EXOS 3D VR glasses + smartphone 6"	Fast threshold 24-2	HFA 24-2	Alto coeficiente de correlação ($r = 0,808$, $P < 0,0001$) entre o teste de RV e a perimetria de Humphrey.	<i>S. Tsapakis(17)</i>
2018	Comparar o dispositivo imo com padrão-ouro	<i>N</i> = 147	Imo (i-H)	Imo 24plus	30-2 SITA Standard	- MD médio para HFA e i-T: -6,1+/-7,8 e -6,2+/-7,1 dB. - Tempo total de medição 30,8% menor para i-T vs HFA. - Coeficientes de correlação MD e VFI altos para HFA vs i-H/i-F. - Taxas de detecção FP e FN significativamente maiores com i-T. - i-T reduziu o tempo de medição em 30,8% e apresentou alta correlação com HFA. Os tipos i-F e i-H produziram resultados semelhantes, permitindo o uso de i-T conforme a situação do paciente.	<i>T. Kimura(18)</i>

2018	Avaliar os uso de RV com device ou PC para screening de glaucoma em domicílio	<i>N = 10</i>	Software sem device específico	24-2 Supra Threshold	24-2	<p>Área sob a curva ROC: 0,762-0,837 ($P < 0,001$)</p> <p>Sensibilidade: 0,637-0,942</p> <p>Especificidade: 0,735-0,497</p> <p>A mesma técnica pode ser implementada por meio de VR em smartphones, e resultados comparáveis seriam esperados.</p>	<i>S. Tsapakis(19)</i>
2020	Avaliar um novo dispositivo Head Mounted para screening de glaucoma	<i>N = 100</i>	CFA (C3 Field Analyzer)	HFA 24-2 SITA com threshold de 18 db em todo campo	HFA 24-2 SITA Standard	<p>A área sob a curva ROC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - $0,77 \pm 0,06$ para glaucoma leve - $0,86 \pm 0,04$ para glaucoma moderado e avançado <p>- A perimetria de RV mostrou-se pouco confiável na identificação de defeitos no campo visual que corresponderem ao HFA.</p> <p>Experiência do paciente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 93% preferiram o teste de RV ao HFA. - O teste de RV foi mais fácil de usar ($P < 0,001$) e mais confortável ($P < 0,001$) do que o HFA. - 60% estariam dispostos a usar a perimetria de RV em casa. 	<i>L. Mees(20)</i>
2021	Comparar o dispositivo com método de tempo de reação ao padrão-ouro	<i>N = 17</i>	GlauCUTU (3D printed)	24-2 SITA Standard	HFA 24-2 SITA Standard	<p>- Diferença significativa entre GlauCUTU e HFA, com duração média de 254,41 e 609 segundos, respectivamente [$t(16) = 15,273$, $p < 0,05$].</p> <p>GlauCUTU é portátil, econômico e adequado para ambientes com recursos limitados.</p>	<i>P. Kunumpol(21)</i>
2021	Testar o dispositivo head-mounted desenvolvido especificamente para perimetria	<i>N = 3</i>	VisuALL HMD VR	T-24 (50 pontos centrais equidistantes 6 graus)	-	<p>Tempo médio de teste (teste simultâneo de ambos os olhos): 8 minutos e 53 segundos. Conclusão bem-sucedida do teste e geração de valores de limiar em cada local de teste no campo visual avaliado.</p>	<i>M. Montelongo(22)</i>
2021	Compara o device AVA, com algoritmo próprio com padrão-ouro.	<i>N = 83</i>	Advanced Vision Analyser (AVA)	ESA (Elisar Standard Algorithm)	HFA 24-2 SITA Standard	<p>- Tempo médio do AVA: $7,08 \pm 1,55$ minutos; HFA: $6,26 \pm 0,54$ minutos ($P = 0,228$).</p> <p>- Diferença de MS: $-2,2 \pm 2,3$ dB em saudáveis ($P < 0,001$) e $-2,6 \pm 3,5$ dB em glaucomatosos ($P < 0,001$).</p> <p>- Coeficientes de correlação para limiares ponto a ponto: $r = 0,68-0,89$.</p> <p>- ICC global para MS: 0,893 ($P < 0,001$), MB: 2,48 dB, LOA: 10,90.</p> <p>- Localização do ponto cego precisa, índices globais correlacionados.</p> <p>- AVA captura efetivamente valores de limiar, demonstrando equivalência substancial com HFA</p>	<i>P. Narang(23)</i>

2021	Avaliação de precisão diagnóstica do VisuALL com método padrão-ouro	N = 51	VisuALL HMD VR	T-24	HFA 24-2 SITA Standard	<ul style="list-style-type: none"> - Correlação entre a sensibilidade média medida pela perimetria de RV e aquela pela resultante do HFA - Todos os quadrantes: correlação significativa tanto no grupo de pacientes quanto no grupo controle - Global: correlação significativa em ambos os grupos normais ($P = 0,001$) e de glaucoma ($P < 0,001$). Para discriminar glaucoma de normal, a sensibilidade média da perimetria de RV apresentou uma curva característica de operação do receptor maior (0,98) do que a sensibilidade média do HFA (0,93) ($P = 0,06$). Tempo de operação significativamente mais longo para ambos os grupos de pacientes. 	R. Razeghinejad(24)
2021	Comparar software com Oculus Quest ao aparelho Octopus 900	N = 35	Oculus Quest (Meta)	Algoritmo Octopus	Octopus 900	<ul style="list-style-type: none"> - Altas correlações de defeito médio (MD) entre os dois sistemas (Spearman, $\rho \geq 0,75$) foram obtidas. - O sistema de RV foi observado subestimar ligeiramente defeitos no campo visual (VF) em indivíduos com glaucoma (1,4 dB). - Em média, um número semelhante de apresentações de estímulos por VF foi necessário ao medir pacientes com glaucoma e indivíduos saudáveis. 	J. Stapefeldt(25)
2021	Comparar um perimetro portatil ao padrão-ouro	N = 91	Toronto Portable Perimeter (TPP)	TPP 24-2	24-2 SITA Standard	<ul style="list-style-type: none"> - Médias de MD, PSD e VFI semelhantes ($p > 0,05$). - Boa concordância entre HFA e TPP. - Diferenças médias pequenas: MD 0,21 dB, PSD -0,13 dB, VFI 0,66%, duração do teste 0,65 segundos. - Forte correlação entre MD ($R(2) = 0,830$) e VFI ($R(2) = 0,866$) em ambas as modalidades. - Pacientes preferiram significativamente TPP ($P < 0,001$). - TPP pode ser uma alternativa acessível e preferida para testes de VF 	Y. Ahmed(26)
2021	Testar o device comparado a padrao ouro no intuito de usa-lo out-of-office	N = 7	Vivid Vision Perimetry (VVD)	VVP Swift	24-2	<ul style="list-style-type: none"> - VVP Swift (8.5 min) mais rápido que SAP (12.2 min, $P < 0.001$). - Diferença média absoluta entre sessões VVP Swift: 0.73 dB. - Associação significativa entre VVP e MD do HVF ($r = 0.86$, $P < 0.001$). - Sensibilidade visual média do VVP Swift associada a espessura média da RNFL ($r = 0.66$, $P = 0.014$) e GCC ($r = 0.63$, $P = 0.02$). - VVP Swift gera resultados reproduzíveis, comparáveis ao SAP. 	J. Greenfield(27)
2022	Validar o software LUXIE para perimetria com RV comparando-o ao padrão-ouro	N = 38	LUXIE	HTC Vive Pro Eye	30-2 SITA Standard	<ul style="list-style-type: none"> - HFA3 global ($r = 0,81$), hemisuperior ($r = 0,77$), quadrantes superonasal, superotemporal e inferonasal ($r = 0,80, 0,78, 0,80$). - A perda de fixação pode ser eliminada em LUXIE com o sistema de rastreamento ocular. <p>Em suma, LUXIE apresentou boas correlações com o Humphrey Field Analyzer 3 em sensibilidades retinianas de campo visual.</p>	C. Yen-Ting(28)
2022	Avaliar as propriedades para diagnóstico e classificação de glaucoma com Palm Scan VF2000	N = 97	Palm Scan VF2000	24-2	24-2	<p>O aparelho mostrou alta sensibilidade e especificidade para detecção de glaucoma, porém, baixa acurácia para classificação do estágio da doença</p>	V. Shetty(29)

2022	Avaliar o uso de inteligência artificial em um algoritmo de RV para melhoria do device	<i>N = 31</i>	GlauCUTU	24-2 SITA Standard	24-2 SITA Standard	<ul style="list-style-type: none"> - Não houve diferença significativa ($p=0,073$) entre o analisador de campo HFAe o GlauCUTU com transformação machine learning - GlauCUTU-DL apresenta o maior coeficiente de correlação de Pearson com HFA (0,74), porém, o maior RMSE (6,31). - Em resumo, o GlauCUTU, sistema de perimetria portátil e acessível, com resultados comparáveis ao HFA, prometendo aumentar o acesso ao rastreamento de glaucoma 	<i>P. Kunumpol(30)</i>
2023	Avaliar a utilidade de RV em uso domiciliar quanto a teste-reteste	<i>N = 20</i>	Vivid Vision Perimetry 10 (VVD-10)	VVP-10	-	<ul style="list-style-type: none"> - O ICC para VVP-10 foi 0,95 (intervalo de confiança [IC] de 95%, 0,92-0,97). - As correlações de Spearman entre a fração média vista no VVP-10 e o MS do HFA foram 0,87 (IC 95%, 0,66-0,98) para olhos com glaucoma moderado a avançado, diminuindo para 0,67 (IC 95%, 0,28-0,94) quando todos os olhos foram incluídos. - Os resultados do VVP-10 em casa demonstraram baixa variabilidade teste-reteste. 	<i>Z. Keen(31)</i>
2023	Validar um novo device de RV a partir da comparação com Octopus 900	<i>N = 29</i>	Iowa HMD	Open Perimetry Interface	Octopus 900	<ul style="list-style-type: none"> - Os RCs ponto a ponto foram 2,6 dB e 3,4 dB para os perímetros HMD e Octopus 900 em indivíduos saudáveis, respectivamente. - Os RCs foram 4,2 dB e 3,5 dB, respectivamente, em pacientes glaucomatosos. - Os limites de concordância entre os perímetros HMD e Octopus 900 foram $\pm 4,6$ dB (diferença média, 0,4 dB) para pacientes saudáveis e $\pm 8,9$ dB (diferença média, 0,1 dB) para pacientes com glaucoma. - A análise retrospectiva mostrou que os RCs ponto a ponto no perímetro HFA2 estavam entre 3,4 e 3,7 dB para pacientes saudáveis e entre 3,9 e 4,7 dB para pacientes com glaucoma. - Defeitos no campo visual foram semelhantes entre o HMD e o Octopus 900 para indivíduos com glaucoma. 	<i>Z. Heinzman(32)</i>
2023	Comparar acuracia intertest entre o device RV e o padrão-ouro	<i>N = 88</i>	Re:Imagine (Heru)	24-2 SITA Standard	24-2 SITA Standard	<ul style="list-style-type: none"> - A análise de regressão linear demonstrou um excelente coeficiente de correlação de Pearson de $r = 0,94$ para MS e $r = 0,95$ para MD. - A análise de ICC demonstrou altos níveis de concordância (ICC = 0,95, $P < 0,001$ para MS e ICC = 0,94, $P < 0,001$ para MD). - A análise de Bland-Altman determinou uma pequena diferença média entre os dois dispositivos (Heru menos Humphrey) de 1,15 dB para MS e 1,06 dB para MD. - O teste de campo visual Heru correlacionou-se bem com o SITA Standard em uma população de olhos normais e olhos com glaucoma 	<i>C. Johnson(33)</i>
2023	Avaliar o uso de perimetria com RV para telemedicina	<i>N = 21</i>	Virtual Reality Visual Field (VRVF)	24-2 SITA Standard	24-2 SITA Standard	<ul style="list-style-type: none"> - Boa concordância entre VRVF e SAP. - Melhor concordância em participantes com defeitos estáveis. - Perdas de fixação mais altas e variáveis no VRVF em comparação com o SAP. - Testes remotos de VF mostraram confiabilidade e aceitação. - Fatores externos podem afetar os testes em casa; idade e comprometimento visual podem influenciar a fixação. 	<i>D. McLaughlin(34)</i>

2023	Comparação do device com RV aos métodos tradicionais	<i>N</i> = 46	Virtual Field	24-2 test grid	24-2	<p>- O teste de VF foi mais curto (por 76 s), com menos perdas de fixação (por 0,08) e taxa de falsos positivos (por 0,01) em comparação com o HFA (todos $p < 0,0001$).</p> <p>- Correlações intraclasse foram 0,86, 0,82 e 0,47 para MD, PSD e sensibilidade ponto a ponto entre os dispositivos, respectivamente.</p> <p>- A variabilidade teste-reteste foi maior para VF (M(diff) 0,3 dB, LoA -7,6 a 8,2 dB) em comparação com o HFA (M(diff) -0,3 dB, LoA -6,4 a 5,9 dB), indicando maior variabilidade teste-reteste.</p> <p>O Virtual Field retorna resultados globais correlacionados com o HFA, mas as sensibilidades ponto a ponto foram mais variáveis.</p>	<i>J. Phu(35)</i>
------	--	---------------	---------------	----------------	------	---	-------------------

Discussão

Dentre as motivações que levaram os pesquisadores a desenvolverem os devices de realidade virtual, as que mais estiveram presentes foram a de permitir o acesso do teste a pacientes com condições que impossibilitem a realização pela metodologia tradicional (como pacientes acamados ou com deformidades musculoesqueléticas), aumento do conforto para realização do exame, possibilidade de realização da perimetria em locais não-hospitalares/ambulatoriais e, por fim, diminuição do custo do aparelho de perimetria.

Majoritariamente os estudos focaram em realizar a comparação dos índices obtidos na perimetria com RV aos obtidos pelos métodos tradicionais. Essas métricas estão relacionadas à sensibilidade retiniana no ponto específico testado, medido em decibéis (dB). Tempo total do exame, índices de confiabilidade, como falsos-positivos, falsos-negativos e perdas de fixação também foram incluídos. Além dessas métricas, alguns desses estudos correlacionaram a topografia dos defeitos perimétricos encontrados pelos dispositivos, com os impressos dos métodos tradicionais.

O método de avaliação perimétrica considerado padrão ouro atualmente é o Humphrey Field Analyzer (HFA - Carl Zeiss Tec.), que utiliza diferentes grids e algoritmo para apresentação dos estímulos luminosos(10, 36). O padrão chamado 24-2 é o mais disseminado, que testa 54 pontos equidistantes a 6 graus do campo visual, enquanto que outras técnicas como 10-2 ou 30-2 também são utilizados para fins diagnósticos e de acompanhamento, cuja análise não cabe a esta revisão. Além do padrão de apresentação, os algoritmos diferem também quanto à intensidade dos pontos luminosos, afim de avaliar mais precisamente a sensibilidade retiniana ponto-a-ponto. Destes, o Swedish Interactive Threshold Algorithm (SITA) Standard é o mais utilizado que, em suma, apresenta os estímulos de forma decrescente, ou seja, os estímulos luminosos vão diminuindo de potência com o passar do teste(37). Além do HFA, o Haag-Streit Octopus (Lombart Inc.) também é utilizado, principalmente no continente europeu, porém com menor número de estudos e validações. Os grids de apresentação dos pontos e algoritmos de estímulos luminosos são similares ao HFA.

Dezoito dos artigos examinados realizaram comparações com o método padrão-ouro, sendo que 18 deles confrontaram com o HFA e dois com o Octopus. Dentro desse conjunto, dezesseis estudos compararam utilizando o grid 24-2, enquanto dois empregaram o grid 30-2. Entre esses estudos, onze especificaram o algoritmo de apresentação luminosa, sendo o SITA Standard considerado o principal tomado como padrão-ouro.

Apenas dois estudos, conduzidos por *McLaughlin et al.*(34) e *Z. Keen et al.* (31), empregaram os dispositivos para avaliar o uso fora de ambientes hospitalares e ambulatoriais. O primeiro identificou uma boa concordância na série de teste-reteste, no entanto, observou menor confiabilidade em pacientes de maior idade, que representam a principal categoria etária afetada pelo glaucoma. O segundo estudo revelou índices inferiores de teste-reteste. Ambos os estudos enfatizam a necessidade de adoção de abordagens distintas para o

treinamento do uso desses dispositivos, como técnicas de gamificação ou outras estratégias(38, 39).

Um aspecto de grande relevância na realização dos testes visuais é a confiabilidade do teste-reteste e calibragem da intensidade luminosa. Com exceção de *Kunumpol et al.(30, 40)*, *Greenfield et al.(27)*, *Johnson et al.(41)* e *Montelongo et al.(22)* os estudos elencados não dissertam sobre a abordagem dessa tecnologia, e como esse aspecto deve ser levado em consideração diante dos achados. A intensidade luminosa é fundamental na precisão dos achados, tendo em vista que a sensibilidade retiniana é testada com base nos limiares atingidos em decibéis. Não somente este aspecto, os estudos falham também abordar as possíveis distorções dos pontos luminosos que são apresetados no display devido à proximidade entre os olhos e o dispositivo.

Apesar de os artigos elencados utilizarem tecnologias de alta complexidade, como as empregadas na modelação de ambientes de realidade virtual, os artigos elencados, com exceção de *Kunumpol et al(30, 40)* e *Montelongo et al(22)*, não discutem os softwares utilizados para criação desses ambientes e as metodologias de construção dos devices. Há majoritariamente um direcionamento das publicação para revistas médicas, com métricas relacionadas a regressões lineares de sensibilidade dos pontos testados, coeficientes inter-teste e correlação topográfica dos defeitos visuais. Entretanto, essas métricas devem ser analisadas diante do entendimento do viés íntinsecos que a utilização de uma tecnologia diferente traz ao exame padrão ouro. O uso da realidade virtual no teste da perimetria pode levar a diferentes tipos de artefatos nos testes ou mesmo índices de confiabilidade que devem ser compreendidos previamente a sua comparação aos métodos padrão-ouro convencionais.

Ademais, os estudos comparativos empregam metodologias e normas distintas para a realização de comparações. Conforme previamente delineado, a perimetria pode ser conduzida mediante a utilização de diversos padrões de campo visual e algoritmos para a apresentação do estímulo visual. Embora essas metodologias diversas desempenhem um papel crucial no monitoramento do paciente, no contexto da validação de uma nova tecnologia, é imperativo obter um consenso para estabelecer métricas objetivas com o intuito de desenvolver um modelo considerado como estado da arte.

A perimetria é um exame fundamental no diagnóstico e acompanhamento do doente glaucomatoso. Consequentemente, a introdução de uma nova tecnologia para a realização desse exame demanda uma compreensão aprofundada antes de sua implementação. Embora os dispositivos de realidade virtual ofereçam perspectivas promissoras para a condução desse teste, subsistem lacunas que necessitam ser abordadas antes de sua utilização em comparação com os métodos tradicionais. Por último, destaca-se a existência de uma deficiência na literatura, especialmente no âmbito das ciências da computação e sua integração com as ciências visuais, o que impõe a necessidade de uma abordagem para maximizar o potencial das tecnologias de realidade virtual.

Referências

1. Anitha S, Pillai PSM. Impact of Virtual Reality in Healthcare: A Review. *Virtual and Augmented Reality in Mental Health Treatment*. 2019.
2. Patrik P, Bostjan Z. Augmented Reality in Healthcare Encyclopedia of E-Health and Telemedicine (pp. 423-438). Hershey, PA, USA: IGI Global; 2016.
3. Li JO, Liu H, Ting DSJ, Jeon S, Chan RVP, Kim JE, et al. Digital technology, tele-medicine and artificial intelligence in ophthalmology: A global perspective. *Prog Retin Eye Res*. 2021;82:100900.
4. Brigham TJ. Reality Check: Basics of Augmented, Virtual, and Mixed Reality. *Med Ref Serv Q*. 2017;36(2):171-8.
5. Ma MKI, Saha C, Poon SHL, Yiu RSW, Shih KC, Chan YK. Virtual reality and augmented reality-emerging screening and diagnostic techniques in ophthalmology: A systematic review. *Surv Ophthalmol*. 2022;67(5):1516-30.
6. Rachapelle S, Legood R, Alavi Y, Lindfield R, Sharma T, Kuper H, Polack S. The cost-utility of telemedicine to screen for diabetic retinopathy in India. *Ophthalmology*. 2013;120(3):566-73.
7. Sommer A, Taylor HR, Ravilla TD, West S, Lietman TM, Keenan JD, et al. Challenges of Ophthalmic Care in the Developing World. *JAMA Ophthalmology*. 2014;132(5):640-4.
8. Quigley HA, Broman AT. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol*. 2006;90(3):262-7.
9. Weinreb RN, Aung T, Medeiros FA. The pathophysiology and treatment of glaucoma: a review. *JAMA*. 2014;311(18):1901-11.
10. Heijl A, Asman P. Pitfalls of automated perimetry in glaucoma diagnosis. *Curr Opin Ophthalmol*. 1995;6(2):46-51.
11. De Moraes GV, Liebmann JM, Ritch R, Krupin T, Low-pressure Glaucoma Study G. Reliability Indices and Rates of Visual Field Change in Glaucoma. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2014;55(13):5634-.
12. Gardiner SK, Swanson WH, Goren D, Mansberger SL, Demirel S. Assessment of the reliability of standard automated perimetry in regions of glaucomatous damage. *Ophthalmology*. 2014;121(7):1359-69.
13. Rao HL, Yadav RK, Begum VU, Addepalli UK, Choudhari NS, Senthil S, Garudadri CS. Role of visual field reliability indices in ruling out glaucoma. *JAMA Ophthalmol*. 2015;133(1):40-4.
14. Camp AS, Weinreb RN. Will Perimetry Be Performed to Monitor Glaucoma in 2025? *Ophthalmology*. 2017;124(12S):S71-S5.
15. Wroblewski D, Francis BA, Sadun A, Vakili G, Chopra V. Testing of visual field with virtual reality goggles in manual and visual grasp modes. *Biomed Res Int*. 2014;2014:206082.
16. Fogagnolo P, Modarelli A, Oddone F, Digiuni M, Montesano G, Orzalesi N, Rossetti L. Comparison of Compass and Humphrey perimeters in detecting glaucomatous defects. *Eur J Ophthalmol*. 2016;26(6):598-606.
17. Tsapakis S, Papaconstantinou D, Diagourtas A, Droutsas K, Andreanos K, Moschos MM, Brouzas D. Visual field examination method using virtual reality glasses compared with the Humphrey perimeter. *Clin Ophthalmol*. 2017;11:1431-43.
18. Kimura T, Matsumoto C, Nomoto H. Comparison of head-mounted perimeter (imo((R))) and Humphrey Field Analyzer. *Clin Ophthalmol*. 2019;13:501-13.
19. Tsapakis S, Papaconstantinou D, Diagourtas A, Kandarakis S, Droutsas K, Andreanos K, Brouzas D. Home-based visual field test for glaucoma screening comparison with Humphrey perimeter. *Clinical Ophthalmology*. 2018;12:2597-606.

20. Mees L, Upadhyaya S, Kumar P, Kotawala S, Haran S, Rajasekar S, et al. Validation of a Head-mounted Virtual Reality Visual Field Screening Device. *Journal of Glaucoma*. 2020;29(2):86-91.
21. Kunumpol P, Lerthirunvibul N, Phienphanich P, Munthuli A, Tantisevi V, Manassakorn A, et al. GlauCUTU: Virtual Reality Visual Field Test. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2021;2021:7416-21.
22. Montelongo M, Gonzalez A, Morgenstern F, Donahue SP, Groth SL. A Virtual Reality-Based Automated Perimeter, Device, and Pilot Study. *Transl Vis Sci Technol*. 2021;10(3):20.
23. Narang P, Agarwal A, Srinivasan M, Agarwal A. Advanced Vision Analyzer-Virtual Reality Perimeter: Device Validation, Functional Correlation and Comparison with Humphrey Field Analyzer. *Ophthalmol Sci*. 2021;1(2):100035.
24. Razeghinejad R, Gonzalez-Garcia A, Myers JS, Katz LJ. Preliminary Report on a Novel Virtual Reality Perimeter Compared With Standard Automated Perimetry. *J Glaucoma*. 2021;30(1):17-23.
25. Stapelfeldt J, Kucur SS, Huber N, Höhn R, Sznitman R. Virtual Reality-Based and Conventional Visual Field Examination Comparison in Healthy and Glaucoma Patients. *Transl Vis Sci Technol*. 2021;10(12):10.
26. Ahmed Y, Pereira A, Bowden S, Shi RB, Li Y, Ahmed IIK, Arshinoff SA. Multicenter Comparison of the Toronto Portable Perimeter with the Humphrey Field Analyzer <i>A Pilot Study</i>. *Ophthalmology Glaucoma*. 2022;5(2):146-59.
27. Greenfield JA, Deiner M, Nguyen A, Wollstein G, Damato B, Backus BT, et al. Virtual Reality Oculokinetic Perimetry Test Reproducibility and Relationship to Conventional Perimetry and OCT. *Ophthalmol Sci*. 2022;2(1):100105.
28. Chen YT, Yeh PH, Cheng YC, Su WW, Hwang YS, Chen HS, et al. Application and Validation of LUXIE: A Newly Developed Virtual Reality Perimetry Software. *J Pers Med*. 2022;12(10).
29. Shetty V, Sankhe P, Haldipurkar SS, Haldipurkar T, Dhamankar R, Kashelkar P, et al. Diagnostic Performance of the PalmScan VF2000 Virtual Reality Visual Field Analyzer for Identification and Classification of Glaucoma. *J Ophthalmic Vis Res*. 2022;17(1):33-41.
30. Kunumpol P, Lerthirunvibul N, Phienphanich P, Munthuli A, Temahivong K, Tantisevi V, et al. GlauCUTU: Time Until Perceived Virtual Reality Perimetry With Humphrey Field Analyzer Prediction-Based Artificial Intelligence. *Ieee Access*. 2022;10:36949-62.
31. Chia ZK, Kong AW, Turner ML, Saifee M, Damato BE, Backus BT, et al. Assessment of Remote Training, At-Home Testing, and Test-Retest Variability of a Novel Test for Clustered Virtual Reality Perimetry. *Ophthalmol Glaucoma*. 2023.
32. Heinzman Z, Linton E, Marín-Franch I, Turpin A, Alawa K, Wijayagunaratne A, Wall M. Validation of the Iowa Head-Mounted Open-Source Perimeter. *Transl Vis Sci Technol*. 2023;12(9):19.
33. Johnson C, Sayed A, McSoley J, Durbin M, Kashem R, Nicklin A, et al. Comparison of Visual Field Test Measurements With a Novel Approach on a Wearable Headset to Standard Automated Perimetry. *Journal of Glaucoma*. 2023;32(8):647-57.
34. McLaughlin DE, Savatovsky EJ, O'Brien RC, Vanner EA, Munshi HK, Pham AH, Grajewski AL. Reliability of Visual Field Testing in a Telehealth Setting Using a Head-Mounted Device: A Pilot Study. *J Glaucoma*. 2023.
35. Phu J, Wang H, Kalloniatis M. Comparing a head-mounted virtual reality perimeter and the Humphrey Field Analyzer for visual field testing in healthy and glaucoma patients. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2023.
36. Yohannan J, Wang J, Brown J, Chauhan BC, Boland MV, Friedman DS, Ramulu PY. Evidence-based Criteria for Assessment of Visual Field Reliability. *Ophthalmology*. 2017;124(11):1612-20.
37. Wild JM, Pacey IE, Hancock SA, Cunliffe IA. Between-algorithm, between-individual differences in normal perimetric sensitivity: full threshold, FASTPAC, and SITA. Swedish Interactive Threshold algorithm. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1999;40(6):1152-61.

38. Sardi L, Idri A, Fernandez-Aleman JL. A systematic review of gamification in e-Health. *J Biomed Inform.* 2017;71:31-48.
39. Krishnamurthy K, Selvaraj N, Gupta P, Cyriac B, Dhurairaj P, Abdullah A, et al. Benefits of gamification in medical education. *Clin Anat.* 2022;35(6):795-807.
40. Kunumpol P, Lerthirunvibul N, Phienphanich P, Munthuli A, Tantisevi V, Manassakorn A, et al., editors. GlauCUTU: Virtual Reality Visual Field Test. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS;* 2021.
41. Johnson C, Sayed A, McSoley J, Durbin M, Kashem R, Nicklin A, et al. Comparison of Visual Field Test Measurements With a Novel Approach on a Wearable Headset to Standard Automated Perimetry. *J Glaucoma.* 2023;32(8):647-57.