



VALIDADE E CONFIABILIDADE DOS DISPOSITIVOS VESTÍVEIS BASEADOS NO MÉTODO DA FOTOPLETISMOGRAFIA PARA MEDIÇÃO DA VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA EM INDIVÍDUOS IDOSOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Ana Gonçalves Lima Neta ¹
Karoline de Andrade Gonzaga ²
Larissa Domingos Nobrega ³
Eujessika Katielly Rodrigues Silva ⁴
Paulo Eduardo e Silva Barbosa ⁵

RESUMO

Dispositivos vestíveis estão sendo cada vez mais utilizados para medição da variabilidade da frequência cardíaca, por serem simples de usar, facilmente acessíveis e de baixo custo. Essa medição é realizada principalmente pelo método da fotopletismografia, em substituição à estimativa do intervalo R-R por meio do eletrocardiograma (padrão-ouro). No entanto, o desempenho de tais dispositivos não está bem estabelecido na literatura, especialmente quando aplicados em indivíduos idosos. Esta revisão foi projetada para investigar sistematicamente a literatura disponível acerca da validade e/ou confiabilidade dos dispositivos vestíveis baseados no método da fotopletismografia para medição da variabilidade da frequência cardíaca em idosos. A busca de dados ocorreu no período compreendido de 12 de agosto a 12 de setembro de 2021, nas seguintes bases de dados eletrônicas: Medline via Pubmed, Scopus via periódicos CAPES e Lilacs via BVS, utilizando a combinação dos termos controlados MeSH/DeCS “Photoplethysmography”, “heart rate variability”, “Elderly”, “Validity”, “Reliability” por meio dos operadores booleanos AND e OR. Não houve restrição linguística ou de ano de publicação. A avaliação do risco de viés foi realizada de acordo com as recomendações do *Cochrane Handbook*. Foram identificados 342 títulos, sendo na Medline (n=211); LILACS (n=0) e SCOPUS (n=131). Numa primeira análise, verificou-se que 57 desses artigos eram duplicados e que 270 não estavam relacionados especificamente com o tema proposto, portanto, 15 artigos para leitura completa, onde 6 foram incluídos na síntese qualitativa. De modo geral, os estudos demonstraram boa correlação e concordância entre os parâmetros de VFC derivados de PPG e ECG, para índices no domínio da frequência e do tempo. O dispositivo mais utilizado foi na forma de relógio. Esta pesquisa apresenta contribuições que permitem viabilizar a utilização de dispositivos vestíveis baseados na fotopletismografia para medição da VFC em idosos.

Palavras-chave: Dispositivos vestíveis, Fotopletismografia, Variabilidade da Frequência cardíaca, Idoso.

¹ Mestranda do Curso de pós-graduação em Ciência e Tecnologia em Saúde da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, anagoncalves.noronha@gmail.com;

² Mestranda do Curso de pós-graduação em Ciência e Tecnologia em Saúde da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, karolineandrade179@gmail.com;

³ Graduanda do Curso de Fisioterapia da Universidade Estadual - UEPB, larissa.nobrega@aluno.uepb.edu.br;

⁴ Professora coorientadora: doutoranda em Fisioterapia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, eujessika.rodrigues@nutes.uepb.edu.br;

⁵ Professor orientador: doutorado em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, paulo.barbosa@nutes.uepb.edu.br.



INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem-se observado mundialmente um aumento relevante do número de idosos. Entretanto, no Brasil, esse fenômeno tem sido considerado um dos mais acelerados. Estima-se que até o final do ano de 2050, o percentual de idosos na população alcance 36% (SARAIVA et al., 2020). O crescimento desse grupo populacional dá-se, em parte, pela influência dos avanços tecnológicos da medicina a que se vem tendo acesso, no aumento da expectativa de vida (SILVA et al., 2021). O aumento da média de vida da população brasileira vem acompanhado do acréscimo proporcional da prevalência de doenças crônico-degenerativas após os 60 anos de idade, que podem comprometer a independência e autonomia deste contingente. Entre tais condições, a doença cardiovascular se destaca como a principal causa de morbimortalidade nesse grupo etário (FERRUCCI, FABBRI, 2018).

O envelhecimento é um processo natural de maturação cerebral marcado por alterações na regulação autonômica cardíaca, além de mudanças na função e estrutura do sistema cardiovascular (GUDE et al., 2018). Marcadores autonômicos cardiovasculares como a sensibilidade barorreflexa (SBR) e a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) em repouso diminuem com o envelhecimento (NORTH, SINCLAIR, 2012; KOSKINEN et al., 2009). Tais marcadores fornecem informações prognósticas sobre o risco de morte súbita cardíaca, infarto do miocárdio e eventos de arritmia, e vêm sendo definidos na literatura como adequados preditores de eventos cardiovasculares no idoso (FRANCESCHI et al., 2018; MOSTARDA et al., 2009; ANTELMINI et al., 2004).

A redução da VFC tem sido sugerida como um indicador de adaptação anormal e insuficiente do Sistema Nervoso Autônomo (SNA), implicando a presença de mau funcionamento fisiológico no indivíduo, correlacionando-se com aumento da incidência de doença coronária, doenças vasculares, risco de declínio cognitivo e demência, fragilidade, alto nível de colesterol, fadiga, estresse, alteração na pressão sanguínea e no cortisol (VON ROSENBERG et al., 2017; VANDERLEI et al., 2009). Ao contrário, a alta VFC aponta para uma melhor adaptação do SNC, controle autonômico, flexibilidade cardiovascular e estado geral de saúde, que permitem ajustes eficientes aos estímulos externos e internos, tais como, o exercício físico, estresse, respiração, alterações hemodinâmicas e metabólicas, e/ou desordens causadas por doenças (DUSCHEK et al., 2009; BRITTON et al., 2008).

As oscilações espontâneas da frequência cardíaca e dos intervalos entre os batimentos cardíacos (intervalo R-R) podem ser avaliadas através da análise espectral das séries temporais

da frequência cardíaca, uma técnica não invasiva para estimar a atividade vagal em várias situações cotidianas, incluindo durante a realização de atividades esportivas (LIN et al., 2014). Por meio da análise e monitoramento da VFC, é possível observar a consequência natural do envelhecimento e da aptidão física na função cardiovascular e do SNA, e também nas condições patológicas, o que pode auxiliar na avaliação, na intervenção e no prognóstico do tratamento de doenças cardiovasculares e sistêmicas dessa população (FOURNIE et al., 2021).

Devido ao fato de os métodos convencionais de medição da VFC, como a eletrocardiografia (ECG), frequentemente envolverem softwares especializados, equipamentos de alto custo, encontrados principalmente em laboratórios de pesquisa, métodos alternativos têm sido utilizados para facilitar a aplicabilidade em situações externas. No entanto, os seus resultados ainda são inconclusivos (ALLEN, 2017). A fotopletismografia (PPG) é um método simples, prático e de baixo custo utilizado para detectar variações volumétricas na circulação sanguínea periférica na superfície da pele (DE HAAN; JEANNE, 2013).

Nos últimos anos, vários dispositivos vestíveis baseados no método PPG foram desenvolvidos e estão amplamente disponíveis, possibilitando a proliferação de novos tipos de serviços relacionados aos cuidados da saúde, como o monitoramento remoto de idosos (JAVAID et al., 2021). O funcionamento desses dispositivos é baseado em sensores que monitoram com segurança pequenas variações na intensidade da luz causadas pela onda de pulso arterial periférica, com diodos emissores de luz de alta intensidade que são transmitidos ou refletidos nos tecidos humanos. No entanto, existem fatores etários, funcionais, biomecânicos, ópticos e fisiológicos que podem influenciar o sinal de PPG (ALIAN et al., 2014; CHOI et al., 2002).

Embora existam vantagens na utilização do PPG em comparação com ECG ambulatorial clássico, o PPG ainda é uma abordagem relativamente nova para este tipo de análise, o que levanta a questão de quão precisos e confiáveis são seus resultados quando comparados ao método de aquisição ECG padrão-ouro, especialmente na população idosa que apresenta características fisiológicas e fisiopatológicas peculiares que devem ser consideradas (PÉREZ-RIERA, 2017). Portanto, uma revisão sistemática que sintetize os resultados dos estudos que examinaram a validade e confiabilidade dos dispositivos vestíveis baseados no método PPG para análise da VFC em idosos, se faz necessária.

Diante destas considerações, o objetivo desta revisão sistemática é avaliar a validade e confiabilidade dos dispositivos vestíveis baseados no método da fotopletismografia para medição da variabilidade da frequência cardíaca em idosos.

METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de revisão sistemática da literatura. De acordo com Barbosa (2013), este método de pesquisa analisa a combinação dos resultados de estudos relevantes em um tópico específico, buscando avaliar a qualidade das informações geradas e resumir os resultados existentes de forma que se possa perceber o poder de cada evidência científica.

Para a estruturação dos métodos empregados nesta revisão foi utilizado como referência as diretrizes do *Preferred Reporting Items in Systematic reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), dessa forma as seguintes etapas foram seguidas: Identificação da questão norteadora; estabelecimento dos critérios de elegibilidade; definição da estratégia de busca para identificação dos estudos; estratégia para coleta e análise de dados; e modo de apresentação dos resultados. A seguir, será descrito com detalhes cada etapa.

Questão norteadora

A elaboração da questão norteadora foi fundamentada na estratégia PICOS, na qual “P” refere-se à população do estudo (idosos com idade ≥ 60 anos); “I” à intervenção/exposição estudada (Fotopleletismografia como ferramenta de medição da VFC); “C” à comparação com outra intervenção/ controle (Eletrocardiografia, qualquer outra técnica de medição da VFC ou sem comparação); “O” refere-se ao desfecho de interesse (confiabilidade e/ou validade) “S” refere-se aos tipos de estudo (estudos experimentais e observacionais). Dessa forma, a questão norteadora para a condução da presente revisão sistemática foi: “Qual é a confiabilidade e a validade dos dispositivos vestíveis baseados no método da fotopleletismografia para medição da variabilidade da frequência cardíaca em idosos?”

Critérios de elegibilidade

Foram selecionados para compor esta revisão estudos observacionais com seguimento prospectivo (estudos de coorte e estudos transversais) e com abordagem quantitativa, e estudos experimentais (dados de linha de base de ensaios clínicos randomizados ou ensaios quase

experimentais), sem restrições de idioma ou período de publicação. Os critérios de inclusão foram: estudos de avaliação, validação e/ou confiabilidade de dispositivos vestíveis baseados no método da fotopletismografia para medição da VFC, estudos que avaliassem a sensibilidade e especificidade do método PPG em comparação com o ECG (padrão-ouro) ou com outra técnica de medição, estudos que incluíssem na amostra indivíduos idosos com idade ≥ 60 anos. Foram excluídos estudos sem medidas de resultados que incluíssem medidas de validade/confiabilidade, estudos sem o detalhamento do protocolo de mensuração e monitoramento, estudos em animais, relatos de caso, revisões, relatórios técnicos, editoriais ou opiniões.

Estratégia de busca para identificação dos estudos

A busca para identificação dos estudos foi realizada inteiramente em bancos de dados eletrônicos. Foram consideradas publicações indexadas nas bases de dados SCOPUS via periódicos CAPES, Medline via Pubmed e Lilacs via BVS. Tais bases foram elegidas por serem consideradas adequadas para atender o objetivo/pergunta desta revisão, já que abrangem estudos do tipo experimental e observacional, além de cobrirem uma vasta quantidade de áreas com trabalhos relevantes relacionados ao objeto de estudo, como saúde e tecnologia.

Para a localização das obras foram utilizados os descritores controlados em português: Idosos [Decs], Fotopletismografia [Decs], Eletrocardiografia [Decs], Dispositivos vestíveis [Decs], Variabilidade da frequência cardíaca [Palavra-chave], Confiabilidade [Decs] e Validade [Decs] e em inglês: Aged [Mesh], Elderly [Mesh], Photoplethysmography [Mesh], Electrocardiography [Mesh], Wearable devices [Mesh], Heart rate variability [Palavra-chave], Reliability [Mesh] e Validity [Mesh], baseados nos elementos da estratégia PICO.

Os descritores foram combinados com os operadores booleanos “AND” e “OR”, seguindo a seguinte estratégia de busca: Cruzamento A: “Wearable devices” AND Photoplethysmography AND “heart rate variability”, Cruzamento B: *Photoplethysmography* AND *“heart rate variability”* AND (*Elderly* OR *Aged*), Cruzamento C: *Elderly* AND (*Photoplethysmography* OR *Wearable devices*) AND *“heart rate variability”* AND (*Validity* OR *Reliability*). A estratégia foi escolhida após testes com diversos cruzamentos, levou-se em consideração a estratégia que recuperou mais artigos (a mais sensível) com precisão.

No Medline foram aplicados os filtros: “idade” e “estudos apenas com humanos”. No Scopus serão utilizados filtros disponíveis para as áreas de estudo. Ressalta-se que, a fim de abarcar maior número de estudos, não se estabeleceu recorte temporal referente ao ano em que

os artigos foram publicados. A seleção dos artigos com base nos critérios de elegibilidade foi realizada de maneira independente, utilizando a plataforma on-line para revisões sistemáticas Covidence, ferramenta que auxilia na triagem e extração de dados. Foi utilizado um formulário de seleção para garantir a consistência e registro das decisões. Primeiramente, os estudos foram selecionados com base em seu título e resumo, seguido da leitura na íntegra dos estudos selecionados. Estudos em duplicata foram excluídos. As etapas de seleção dos estudos foram organizadas e descritas de acordo com o fluxograma PRISMA.

Coleta e análise de dados

A extração de dados dos estudos selecionados foi realizada através do preenchimento do formulário elaborado pela própria autora, contendo as seguintes informações: nome dos autores, ano de publicação, periódico, país, título, objetivo do estudo, tipo de estudo, população, número, sexo e idade do grupo amostral, contexto/ cenário de avaliação, características dos métodos de avaliação utilizadas, propriedades das medidas investigadas, tempos de medição, índices de VFC, metodologia utilizada, métodos estatísticos utilizados, propriedades de confiabilidade (Ex: coeficiente de spearman, percentual de erro, coeficiente de pearson) e validade (Ex: coeficiente de correlação intra-classe) avaliadas, resultados e conclusões. Os dados extraídos foram registrados e gerenciados nos softwares Microsoft Word e Excel.

A avaliação do risco de viés dos estudos selecionados foi realizada de acordo com os critérios do *Risk of Bias in Non-randomized Studies of Interventions* (ROBINS-I) e do *Risk of Bias Too or randomized trials* (RoB 2.0), ferramentas da *Cochrane Collaboration's* para avaliação da qualidade de estudos observacionais e experimentais, respectivamente. A classificação em cada item foi categorizada em quatro opções: viés de baixo risco, viés de moderado risco, viés de sério risco, ou viés de risco crítico. Considerando a metodologia do estudo, os domínios avaliados foram: viés de confundimento, viés de seleção dos participantes do estudo, viés de classificação das intervenções, viés por desvio das intervenções pretendidas, viés de falta de dados, viés na medição dos resultados, viés na seleção dos resultados descritos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo a estratégia definida, a busca realizada nas bases de dados eletrônicas resultou em 342 títulos, sendo na Medline (n=211); LILACS (n=0) e SCOPUS (n=131). Numa primeira análise, verificou-se que 57 desses artigos eram duplicados e que 270 não estavam relacionados especificamente com o tema proposto, restando, portanto, 15 artigos para leitura completa. Após leitura na íntegra, foram incluídos seis artigos para síntese qualitativa (HOOG ANTINK et al., 2021; NATARAJAN et al., 2020; KINNUNEN et al., 2020; GRAHAM et al., 2019; CHEN HUNG-KAI et al., 2018; WEINSCHENK et al., 2016).

O quadro 1 descreve uma síntese da caracterização dos estudos selecionados de acordo com o ano, autor, periódico, país, amostra, tipo de estudo e objetivos (Quadro 1).

Quadro 1. Características dos artigos incluídos na revisão.

Autor/Ano	Periódico	País	População/ Amostra	Tipo de estudo	Objetivos
HOOG ANTINK et al., 2021	<i>Scientific reports</i>	Alemanha	29 idosos hospitalizados (idade média de 70 anos)	Estudo transversal	Avaliar a precisão do método PPG para medição da VFC
NATARAJAN et al., 2020	<i>The Lancet Digital Health</i>	EUA	8.000 adultos e idosos (idade média de 48,995 anos)	Estudo transversal	Avaliar a VFC por meio do método PPG
KINNUNEN et al., 2020	<i>Physiological measurement</i>	Finlândia	49 adultos e idosos (idade média não informada, com variedade de 15-72 anos)	Estudo transversal	Validar a acurácia do aneloura (método PPG) na medição da VFC
GRAHAM et al., 2019	<i>JMIR mHealth and uHealth</i>	EUA	77 idosos com idade entre 65 e 95 anos	Coorte prospectiva	Avaliar associações entre medidas de VFC obtidas por PPG e medidas clínicas validadas
CHEN HUNG-KAI et al., 2018	<i>Computers in Biology and Medicine</i>	China	54 adultos e idosos entre 30 e 76 anos.	Estudo transversal	Avaliar a precisão dos parâmetros espectrais da VFC obtidos por método PPG em comparação ao método padrão
WEINSCHENK et al., 2016	<i>European journal of applied</i>	Alemanha	343 adultos e idosos (idade média de	Estudo transversal	Avaliar a concordância entre as medidas de VFC obtidas por ECG e PPG

	<i>physiology</i>		45,4± 14,0 anos, com variedade de 18-78 anos)		
--	-------------------	--	---	--	--

Os estudos incluídos nessa revisão sistemática investigam a validade e confiabilidade dos dispositivos vestíveis baseados no método PPG para medição da VFC em diferentes faixas etárias, contextos e escopos de avaliação. O quadro 2 sintetiza os métodos de avaliação e estatística, propriedades das medidas e os principais resultados dos artigos selecionados (Quadro 2).

Quadro 2. Métodos de avaliação e principais resultados dos artigos incluídos na revisão.

Autor/Ano	Métodos de avaliação	Propriedades/ Técnicas de análise estatísticas	Principais Resultados
HOOG ANTINK et al., 2021	Avaliação de 24 horas, dispositivo de pulso OHV, método PPG, ECG de comparação, Domínio do tempo e frequência.	Erro relativo / erro absoluto / viés relativo	9% / 2 ms / 2% para SDNN no domínio do tempo, Índice Triangular com 12% / 0,66 / 1%, no domínio frequência 5% e 9%.
NATARAJAN et al., 2020	Avaliação de 24 horas, dispositivo Fitbit, método PPG, ECG de comparação, Domínio do tempo, frequência e gráfico.	Tamanho de efeito de Cohen/ Correlação de Person	Tamanho de efeito de Cohen de 0,22, correlação de Pearson foi de 0,898 entre RMSSD e potência de alta frequência, 0,916 entre RMSSD e Poincare S 1, 0,828 entre SDRR e potência de baixa frequência, e 0,617 entre SDRR e Poincare S 2.
KINNUNEN et al., 2020	Avaliação de 5 minutos, dispositivo anel Oura, método PPG, ECG de comparação, domínio do tempo e frequência.	Análise de regressão e Bland e correlação de Spearman	Foi observada concordância muito alta entre o anel e o ECG para a VFC médias noturnas ($r^2 = 0,996$ e $0,980$, respectivamente) com um viés médio de $-0,63$ bpm e $-1,2$ ms. Alta concordância também foi observada em segmentos de 5 min dentro de noites individuais em ($r^2 = 0,869 \pm 0,098$ e $0,765 \pm 0,178$ em HR e HRV, respectivamente).

GRAHAM et al., 2019	Avaliação de 5 minutos, PPG usado no pulso sensor Empatica E4 e instrumentos clínicos validados, Índice triangular.	Coeficientes de correlação de Spearman e análise de regressão	Associações significativas de HRV TI com SPPB (n = 52; Spearman $\rho = 0,41$; P = 0,003), TUG (n = 51; $\rho = -0,40$; P = 0,004), escores compostos físicos SF-36 (n = 49; $\rho = 0,37$; P = 0,009), e pontuações CIRS-G (n = 52, $\rho = -0,43$; P = 0,001).
CHEN HUNG-KAI et al., 2018	Avaliação de 5 minutos, série temporal, análise espectral, 36 combinações de métodos diferentes.	Erro relativo / erro absoluto/ Correlação	Menor erro relativo médio nos parâmetros do domínio espectral de potência de baixa frequência normalizada (LFnu), potência de alta frequência normalizada (HFnu) e a razão de potência de baixa frequência normalizada para potência de alta frequência normalizada (LFnu / HFnu) entre 1 Hz e 4 Hz são 3,7%, 15,3% e 16,4%, respectivamente.
WEINSCHENK et al., 2016	Avaliação de 1 minuto e 5 minutos, dispositivo m HRV-Scanner da BioSign GmbH, método PPG, ECG de comparação, análise espectral, domínio de tempo e domínio de frequência.	Coeficiente de correlação de Spearman, análise de Bland-Altman	Correlações estatisticamente significativas de 0,917 a 1 ($p < 0,01$) entre PPG e ECG para todos os parâmetros de VFC, A análise de Bland - Altman produziu diferentes níveis de concordância entre os parâmetros de VFC derivados de PPG e ECG. Na s-HRV, foi encontrada boa concordância para 2 de 8 parâmetros de HRV: frequência cardíaca média e SD2, enquanto concordância ruim foi encontrada para 3 de 8 parâmetros

De uma forma geral, os estudos demonstraram boa correlação e concordância entre os parâmetros de VFC derivados de PPG e ECG, para índices no domínio da frequência e do tempo (SDNN, SDHR, RMSSD). No que concerne ao tipo de dispositivo, o mais utilizado foi na forma de relógio.



Quanto às evidências de validade, em geral foi evidenciada por técnicas de análise de regressão e correlação. Em relação a avaliação do risco de viés, a maioria dos estudos incluídos na revisão foram considerados de baixo a moderado risco.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A medição da VFC por meio de dispositivos vestíveis baseados no método da PPG tem o potencial de melhorar a eficácia da prestação de cuidados de saúde dos idosos, fornecendo indicações do estado de saúde, favorecendo a detecção precoce de risco cardiovascular, diagnósticos e gerenciamento de doenças cardiovasculares.

Esta pesquisa apresenta contribuições que permitem viabilizar a utilização de dispositivos vestíveis baseados na fotopletismografia para medição da VFC em idosos. No entanto, embora as evidências apoiem o uso de dispositivos vestíveis para medição da VFC em idosos, são necessários estudos maiores e bem projetados para estabelecer sua precisão e vantagens.

Finalizando, espera-se que os resultados obtidos possam contribuir para a construção de conhecimento acerca dessa relevante temática e tragam subsídios para entender melhor os limites da tecnologia PPG e melhorar seu desempenho.

REFERÊNCIAS

ALIAN, Aymen A.; SHELLEY, Kirk H. Photoplethysmography. **Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology**, v. 28, n. 4, p. 395-406, 2014.

ALLEN, John. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. **Physiological measurement**, v. 28, n. 3, p. R1, 2017.

ANTELMÍ, Ivana et al. Influence of age, gender, body mass index, and functional capacity on heart rate variability in a cohort of subjects without heart disease. **The American journal of cardiology**, v. 93, n. 3, p. 381-385, 2004.

BARBOSA, F.T. Introdução a revisão sistemática: a pesquisa do futuro. Maceió, produção independente, 2013. Disponível em: http://C:/Users/hp/Downloads/a_introducao_a_revisao_sistemática_a_pesquisa_do_futuro.pdf >. Acesso em: 22 ago. 2021.



BRITTON, Annie et al. The association between heart rate variability and cognitive impairment in middle-aged men and women. **Neuroepidemiology**, v. 31, n. 2, p. 115-121, 2008.

CHEN, Hung-Kai; HU, Yu-Feng; LIN, Shien-Fong. Methodological considerations in calculating heart rate variability based on wearable device heart rate samples. **Computers in Biology and Medicine**, v. 102, p. 396-401, 2018.

CHOI, Seong et al. Laser oximetry: A novel noninvasive method to determine changes in penile hemodynamics in an anesthetized rabbit model. **Journal of andrology**, v. 23, n. 2, p. 278-283, 2002.

DE HAAN, Gerard; JEANNE, Vincent. Robust pulse rate from chrominance-based rPPG. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 60, n. 10, p. 2878-2886, 2013.

DUSCHEK, Stefan et al. Relationships between features of autonomic cardiovascular control and cognitive performance. **Biological psychology**, v. 81, n. 2, p. 110-117, 2009.

FERRUCCI, Luigi; FABBRI, Elisa. Inflammaging: chronic inflammation in ageing, cardiovascular disease, and frailty. **Nature Reviews Cardiology**, v. 15, n. 9, p. 505-522, 2018.

FOURNIÉ, Claire et al. Heart rate variability biofeedback in chronic disease management: a systematic review. **Complementary Therapies in Medicine**, p. 102750, 2021.

GRAHAM, Sarah Anne et al. Associations between heart rate variability measured with a wrist-worn sensor and older adults' physical function: observational study. **JMIR mHealth and uHealth**, v. 7, n. 10, p. e13757, 2019.

GUDE, Natalie A. et al. Cardiac ageing: extrinsic and intrinsic factors in cellular renewal and senescence. **Nature Reviews Cardiology**, v. 15, n. 9, p. 523-542, 2018.

HOOG ANTINK, Christoph et al. Accuracy of heart rate variability estimated with reflective wrist-PPG in elderly vascular patients. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 1-12, 2021.

JAVAID, Mohd et al. Sensors for daily life: A review. **Sensors International**, p. 100121, 2021.

KINNUNEN, Hannu et al. Feasible assessment of recovery and cardiovascular health: accuracy of nocturnal HR and HRV assessed via ring PPG in comparison to medical grade ECG. **Physiological measurement**, v. 41, n. 4, p. 04NT01, 2020.

KOSKINEN, Tuomas et al. Short-term heart rate variability in healthy young adults: the Cardiovascular Risk in Young Finns Study. **Autonomic Neuroscience**, v. 145, n. 1-2, p. 81-88, 2009.

LIN, Wan-Hua et al. Comparison of heart rate variability from PPG with that from ECG. In: **The international conference on health informatics**. Springer, Cham, 2014. p. 213-215.

MOHER, Shamseer et al. Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols (PRISMA-P) 2015 statement. **Syst Rev**. v.4, n.1, p.1, 2015.

MOSTARDA, Cristiano et al. Hipertensão e modulação autonômica no idoso: papel do exercício físico. **Rev Bras Hipertens**, v. 16, n. 1, p. 55-60, 2009.



NATARAJAN, Aravind et al. Heart rate variability with photoplethysmography in 8 million individuals: a cross-sectional study. **The Lancet Digital Health**, v. 2, n. 12, p. e650-e657, 2020.

NORTH, Brian J.; SINCLAIR, David A. The intersection between aging and cardiovascular disease. **Circulation research**, v. 110, n. 8, p. 1097-1108, 2012.

PÉREZ-RIERA, Andrés Ricardo et al. Main artifacts in electrocardiography. **Annals of Noninvasive Electrocardiology**, v. 23, n. 2, p. e12494, 2018.

SARAIVA, Marcos Daniel et al. Prospective GERiatric Observational (ProGERO) study: cohort design and preliminary results. **BMC geriatrics**, v. 20, n. 1, p. 1-12, 2020.

SILVA, Rafaela et al. Functional fitness in older people: a population-based cross-sectional study in Borba, Amazonas, Brazil. **Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación**, n. 39, p. 731-736, 2021.

VANDERLEI, Luiz Carlos Marques et al. Noções básicas de variabilidade da frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica. **Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery**, v. 24, p. 205-217, 2009.

VON ROSENBERG, Wilhelm et al. Resolving ambiguities in the LF/HF ratio: LF-HF scatter plots for the categorization of mental and physical stress from HRV. **Frontiers in physiology**, v. 8, p. 360, 2017

WEINSCHENK, Stefan W.; BEISE, Reinhard D.; LORENZ, Jürgen. Heart rate variability (HRV) in deep breathing tests and 5-min short-term recordings: agreement of ear photoplethysmography with ECG measurements, in 343 subjects. **European journal of applied physiology**, v. 116, n. 8, p. 1527-1535, 2016.