Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica

(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

MODULAÇÃO AUTONÔMICA, CONSUMO DE OXIGÊNIO DE PICO E PARÂMETROS CARDÍACOS EM FUTEBOLISTAS PROFISSIONAIS

AUTONOMIC MODULATION, PEAK OXYGEN UPTAKE AND CARDIAC PARAMETERS IN PROFESSIONAL FOOTBALL PLAYERS

Lucas de Souza Fischer; Davi Gomes Oliveira Lima; Débora Dias Ferraretto Moura Rocco; Alexandre Galvão da Silva.

Santos Futebol Clube; Universidade Santa Cecília; Laboratório de Fisiologia do Exercício e Saúde (LAFES), Santos, SP, Brasil.
E-mail para contato: lucasouzafischer@gmail.com

RESUMO – A avaliação cardiovascular integrada pode caracterizar futebolistas profissionais. Investigaram-se associações entre modulação autonômica, VO_2pico e parâmetros ventriculares em estudo transversal com 28 homens; 25 tinham exames ecocardiográficos. Aplicaram-se correlações de Pearson, IC95% e ajuste de Holm. O LnRMSSD foi 3,82 ± 0,63 e o VO_2pico, 50,00 ± 5,21 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. Não houve evidência de associação entre ambos (r = 0,262; p = 0,178). A FC de repouso associou-se inversamente ao LnRMSSD (r = −0,576; p ajustado = 0,013). Não houve associações significativas entre VO_2pico e medidas ventriculares. Os achados não demonstram independência entre VFC e capacidade aeróbia; a imprecisão das estimativas e as limitações ecocardiográficas restringem as conclusões.

Palavras-chave: variabilidade da frequência cardíaca; consumo de oxigênio; futebol; ecocardiografia.

ABSTRACT – Integrated cardiovascular assessment may characterize professional football players. This cross-sectional study examined associations among autonomic modulation, VO_2peak and ventricular measures in 28 men; 25 had echocardiograms. Pearson correlations, 95% CIs and Holm adjustment were used. Mean LnRMSSD was 3.82 ± 0.63 and VO_2peak was 50.00 ± 5.21 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. There was no evidence of association between them (r = 0.262; p = 0.178). Resting heart rate correlated inversely with LnRMSSD (r = −0.576; adjusted p = 0.013). No significant associations were found between VO_2peak and ventricular measures. These findings do not demonstrate independence between HRV and aerobic capacity; imprecise estimates and echocardiographic limitations restrict the conclusions.

Keywords: heart rate variability; oxygen uptake; football; echocardiography.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

O futebol profissional caracteriza-se pela alternância de ações de elevada intensidade e períodos de menor exigência, em um contexto de treinamentos e competições sucessivas. A capacidade aeróbia contribui para sustentar o esforço e favorecer a recuperação entre ações, mas o desempenho também depende de componentes técnicos, táticos e neuromusculares (Stølen et al., 2005). Avaliações na pré-temporada permitem caracterizar diferentes dimensões da condição cardiovascular e estabelecer medidas de referência para o acompanhamento dos atletas.

A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) descreve as oscilações dos intervalos entre batimentos e oferece uma medida não invasiva da modulação autonômica cardíaca. Entre os índices temporais, a raiz quadrada da média dos quadrados das diferenças sucessivas entre intervalos normais (RMSSD) está relacionada à modulação vagal. A transformação logarítmica natural, LnRMSSD, pode reduzir a assimetria dos valores e facilitar a análise. A interpretação desses índices depende da postura, duração do registro e qualidade do sinal; eles não representam uma medida direta do balanço entre toda a atividade simpática e parassimpática (Shaffer e Ginsberg, 2017).

Registros ultracurtos favorecem a aplicação da VFC na rotina esportiva. Munoz et al. (2015) observaram elevada concordância do RMSSD de registros de 120 segundos com registros de 240 a 300 segundos em adultos. Esco e Flatt (2014) encontraram concordância favorável do LnRMSSD de segmentos de 60 segundos com registros de cinco minutos em atletas universitários. Esses resultados não validam automaticamente outros protocolos de campo; sua interpretação exige considerar população, condições de aquisição, artefatos e erro de medida (Shaffer, Meehan e Zerr, 2020).

A ergoespirometria caracteriza as respostas ventilatórias, metabólicas e cardiovasculares ao exercício incremental, incluindo o consumo de oxigênio de pico (VO_2pico). A ecocardiografia permite avaliar dimensões, volumes e função ventricular (American Thoracic Society e American College of Chest Physicians, 2003; Lang et al., 2015). Essas avaliações abrangem componentes distintos da fisiologia cardiovascular. Sua interpretação conjunta requer considerar as características corporais, o histórico de treinamento e os métodos de mensuração (Pelliccia et al., 2018).

ISSN 2317-1316

As respostas longitudinais da VFC ao treinamento são heterogêneas em atletas de *endurance* de elite (Plews et al., 2013), o que não determina sua relação transversal com a capacidade aeróbia em futebolistas. Este estudo examinou a associação entre LnRMSSD em repouso e VO_2pico na pré-temporada e explorou relações com frequência cardíaca e parâmetros ventriculares. Investigou-se a hipótese de associação positiva entre LnRMSSD e VO_2pico, sem pressupor equivalência entre os indicadores.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Delineamento e composição da amostra

Foi realizado um estudo observacional transversal com 28 atletas profissionais de futebol do sexo masculino, integrantes da equipe profissional do Santos Futebol Clube, com idade de 26,3 ± 5,19 anos. As avaliações ocorreram no Santos Futebol Clube, em Santos, SP, de 3 a 10 de janeiro de 2026, durante a pré-temporada, com intervalo de um a três dias entre os exames. A composição da amostra foi baseada na disponibilidade das avaliações dos atletas da equipe.

Os 28 atletas apresentavam medidas de VFC e ergoespirometria; 25 dispunham também de avaliação ecocardiográfica. A ausência dos três exames ecocardiográficos decorreu de transferências contratuais durante a pré-temporada. Foram utilizados os pares completos em cada análise, sem imputação de dados ausentes.

2.2 Avaliação autonômica e cardiorrespiratória

A VFC foi obtida com sensor torácico Polar H10, aplicativo Elite HRV para aquisição dos intervalos entre batimentos e software Kubios para análise. Foram analisados 120 segundos, com os atletas sentados e em respiração espontânea. O repouso prévio não foi padronizado: os atletas eram atendidos por ordem de chegada e aguardavam a conclusão da avaliação anterior. As avaliações ocorreram entre 08h e 18h, sem controle rigoroso de ruídos, movimentação ou ingestão de substâncias psicoestimulantes.

Foram analisados RMSSD, expresso em milissegundos, e LnRMSSD, calculado como ln(RMSSD/1 ms), uma grandeza adimensional. A FC de repouso utilizada nas associações autonômicas foi a aferida durante a avaliação de VFC, distinguindo-se da FC de repouso

ISSN 2317-1316

aferida antes da ergoespirometria. As versões dos *softwares* e os procedimentos de detecção e correção de artefatos não foram especificados.

A capacidade cardiorrespiratória foi avaliada por teste incremental em esteira Inbramed, com análise de trocas gasosas por sistema CPX e monitorização eletrocardiográfica de 12 derivações. A velocidade inicial foi de 5,0 km/h, com incrementos de 1,5 km/h a cada minuto. A inclinação foi elevada quando o avaliador identificou proximidade da exaustão. O principal motivo de interrupção foi a fadiga máxima relatada pelo atleta, caracterizando exaustão voluntária. Não foram especificados os valores da inclinação nem os modelos completos dos equipamentos.

O VO_2pico correspondeu ao maior consumo de oxigênio reportado no teste; essa denominação foi adotada pela ausência de confirmação de platô ou de outros critérios de esforço máximo. Foram analisadas a FC máxima observada e a carga metabólica máxima em equivalentes metabólicos (METs). Por convenção, 1 MET corresponde a 3,5 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Jetté, Sidney e Blümchen, 1990). Não foram especificados o método de obtenção dos METs, o intervalo temporal de média do VO_2 nem os procedimentos de calibração.

2.3 Avaliação ecocardiográfica

A avaliação ecodopplercardiográfica seguiu as recomendações da American Society of Echocardiography, conforme informado pela equipe responsável (Lang et al., 2015). Foram analisados volume diastólico final (VDF), volume sistólico final (VSF), fração de ejeção (FE) e relação entre massa ventricular e superfície corporal. O volume sistólico ejetado foi calculado como VDF − VSF. O método específico de determinação dos volumes e da FE, o equipamento e a unidade da relação massa/superfície corporal não foram confirmados.

A compatibilidade aritmética entre os volumes e a FE foi examinada pela relação FE = (VDF − VSF)/VDF. As medidas de FE foram mantidas na análise principal, enquanto a FE derivada dos volumes foi utilizada em análise de sensibilidade. Foram identificadas diferenças entre essas medidas em três dos 25 exames disponíveis. Sem a identificação dos métodos empregados, não foi possível determinar a origem dessas diferenças.

ISSN 2317-1316

2.4 Análise estatística

As variáveis foram descritas por média, desvio-padrão amostral (DP) e valores mínimo e máximo. A normalidade marginal foi examinada pelo teste de Shapiro–Wilk. As associações foram estimadas pelo coeficiente de Pearson, com testes bilaterais e intervalos de confiança de 95% (IC95%) pela transformação z de Fisher. Foram utilizados pares completos, com n = 28 para as medidas autonômicas e cardiorrespiratórias e n = 25 nas análises ecocardiográficas. Adotou-se nível de significância nominal de 0,05.

As 11 associações apresentadas na Tabela 2 foram tratadas como uma família exploratória, com ajuste de Holm para comparações múltiplas. A correlação de Spearman e a exclusão de uma observação por vez foram empregadas para avaliar a sensibilidade dos resultados. Os testes adicionais de consistência foram considerados diagnósticos, sem novas alegações confirmatórias. Não foram ajustados modelos multivariáveis. Os cálculos foram realizados em Python 3.12.14, NumPy 2.3.5 e SciPy 1.17.0.

2.5 Aspectos éticos

Este estudo integrado da Universidade Santa Cecília (UNISANTA/SP), instituição proponente, identificado pelo CAAE 83677724.2.0000.5513 e parecer nº 7.215.353. O uso dos dados neste subestudo foi autorizado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Distribuição das medidas

A Tabela 1 apresenta as medidas cardiovasculares. Shapiro–Wilk indicou desvio da normalidade para RMSSD (p = 0,026) e FC na VFC (p = 0,033), mas não para LnRMSSD (p = 0,310) ou VO_2pico (p = 0,676). Como a normalidade marginal não verifica isoladamente a adequação da correlação de Pearson, foram realizadas análises por postos e de sensibilidade.

Tabela 1: Caracterização das medidas cardiovasculares

Variável	n	Média ± DP	Mínimo–máximo
VO_2pico (mL·kg^{-1}·min^{-1})	28	50,00 ± 5,21	36,40–59,30
RMSSD (ms)	28	54,85 ± 32,38	14,20–130,40
LnRMSSD (adimensional)	28	3,82 ± 0,63	2,65–4,87

ISSN 2317-1316

Variável	n	Média ± DP	Mínimo–máximo
FC de repouso na VFC (bpm)	28	70,00 ± 14,26	51,00–98,00
FC de repouso na ergo (bpm)	28	74,21 ± 13,15	56,00–112,00
FC máxima observada (bpm)	28	180,36 ± 11,88	160,00–203,00
Carga metabólica (METs)	28	13,45 ± 3,04	8,10–16,40
VDF[2] (mL)	25	143,56 ± 17,64	102,40–180,00
VSF[2] (mL)	25	52,09 ± 8,61	35,00–65,90
VS calculado[2] (mL)	25	91,47 ± 10,90	67,40–114,10
FE registrada[2] (%)	25	63,76 ± 2,98	57,10–69,70
Relação massa/superfície[1]	25	88,37 ± 11,38	69,30–112,40

DP: desvio-padrão; VDF: volume diastólico final; VSF: volume sistólico final; VS: volume sistólico ejetado; FE: fração de ejeção. [1] Unidade não documentada. [2] Interpretação condicionada ao esclarecimento das discrepâncias ecocardiográficas. VS = VDF − VSF.

3.2 Associações bivariadas

A associação entre LnRMSSD e VO_2pico apresentou r = 0,262, IC95% de −0,123 a 0,579 e p = 0,178 (Tabela 2). O intervalo inclui zero e valores positivos de magnitude moderada, indicando incerteza na estimativa. A FC de repouso da VFC associou-se inversamente ao LnRMSSD, e a carga metabólica máxima em METs associou-se positivamente ao VO_2pico; ambas permaneceram significativas após o ajuste de Holm. Nenhuma associação entre os parâmetros ventriculares e VO_2pico atingiu significância nominal.

Tabela 2: Correlações de Pearson e ajuste para 11 comparações

Associação	n	r	IC95%	p	p Holm
LnRMSSD × VO_2pico	28	0,262	−0,123 a 0,579	0,178	0,983
RMSSD × VO_2pico	28	0,354	−0,022 a 0,642	0,065	0,555
FC VFC × LnRMSSD	28	−0,576	−0,781 a −0,259	0,001	0,013
FC VFC × VO_2pico	28	−0,358	−0,645 a 0,018	0,062	0,555
METs × VO_2pico	28	0,735	0,498 a 0,869	< 0,001	< 0,001
VDF × VO_2pico	25	−0,205	−0,555 a 0,207	0,326	0,983
VSF × VO_2pico	25	−0,287	−0,613 a 0,122	0,164	0,983

ISSN 2317-1316

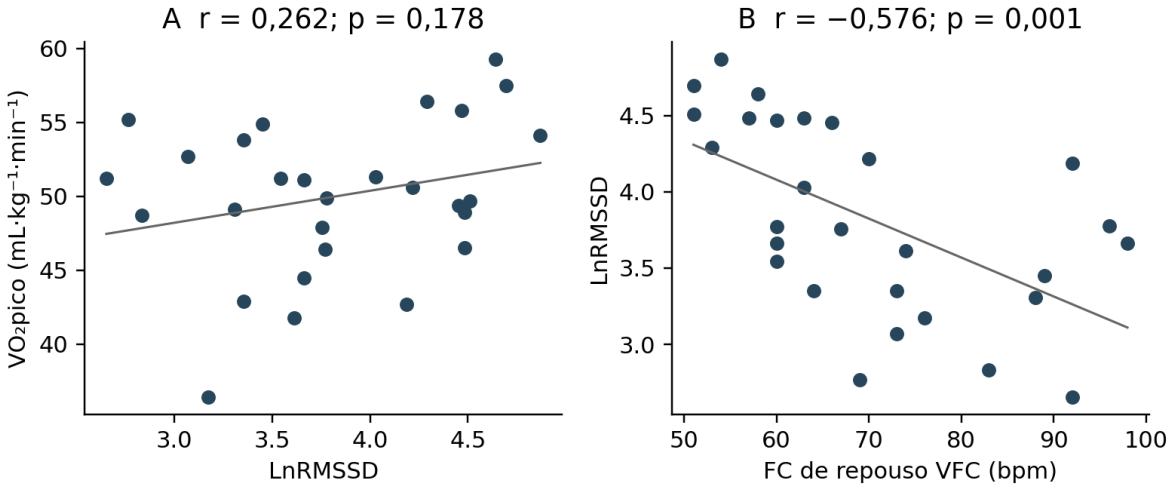
Associação	n	r	IC95%	p	p Holm
VS calculado × VO_2pico	25	−0,105	−0,480 a 0,303	0,618	0,983
FE registrada × VO_2pico	25	0,271	−0,140 a 0,601	0,191	0,983
Massa/superfície × VO_2pico	25	0,261	−0,150 a 0,595	0,208	0,983
FC máxima × VO_2pico	28	0,307	−0,074 a 0,610	0,112	0,783

FC VFC: frequência cardíaca de repouso durante a avaliação autonômica. IC95% individuais, sem ajuste simultâneo. Os resultados ecocardiográficos devem ser interpretados considerando as ressalvas da Tabela 1.

A análise de Spearman também não identificou evidência de associação entre LnRMSSD e VO_2pico ($\rho = 0,230$; $p = 0,240$) e indicou associação inversa entre FC VFC e LnRMSSD ($\rho = -0,666$; $p < 0,001$). Para FC VFC–VO_2pico, Pearson resultou em $p = 0,062$ e Spearman em $p = 0,029$, mostrando sensibilidade à escolha do estimador. A associação METs–VO_2pico apresentou $\rho = 0,718$; $p < 0,001$. Os valores de p de Spearman são nominais e pertencem às análises de sensibilidade; não substituem as 11 comparações ajustadas pelo método de Holm.

Na exclusão de uma observação por vez, r variou de 0,188 a 0,352 para LnRMSSD–VO_2pico e de −0,645 a −0,525 para FC VFC–LnRMSSD. A dispersão das duas relações é apresentada na Figura 1.

Figura 1: Dispersão de LnRMSSD com VO_2pico e FC de repouso.



n = 28. Retas de mínimos quadrados apresentadas para visualização da tendência linear. LnRMSSD adimensional.

ISSN 2317-1316

3.3 Interpretação autonômica e cardiorrespiratória

Não se observou evidência estatística suficiente de associação entre LnRMSSD e VO_2pico. Essa constatação não demonstra independência entre modulação autonômica e capacidade aeróbia, pois o intervalo de confiança admite diferentes magnitudes de associação. Também não foi estabelecida capacidade de predição individual, que exigiria um desenho e procedimentos de validação específicos.

O acompanhamento da VFC requer considerar a carga de treinamento, a variabilidade individual e o erro de medida (Buchheit, 2014). Plews et al. (2013) discutem respostas heterogêneas da VFC às adaptações ao treinamento em atletas de elite, reforçando a importância de acompanhar cada indivíduo. A comparação transversal entre jogadores não permite determinar se mudanças do LnRMSSD ao longo do tempo acompanham mudanças do VO_2pico.

A relação inversa entre FC de repouso e LnRMSSD é compatível com determinantes comuns das medidas cardíacas basais. Entretanto, ambos derivam do ritmo cardíaco, não constituindo evidências fisiológicas independentes. Não se pode inferir "predominância vagal", prontidão para competir ou superioridade de condicionamento a partir da média de RMSSD, sem referências apropriadas e padronização das condições de coleta.

3.4 Interpretação dos parâmetros cardíacos

Os volumes ventriculares e a FE registrados não apresentaram associação significativa com VO_2pico. A amplitude dos IC95% e a disponibilidade de somente 25 pares limitam a precisão. Além disso, volumes absolutos foram comparados a consumo de oxigênio relativo à massa corporal, sem ajuste por tamanho corporal. Assim, o resultado não permite descartar relações entre dimensões cardíacas e capacidade funcional em outras condições de análise.

A interpretação dos volumes e da função ventricular depende do método de quantificação ecocardiográfica (Lang et al., 2015). Como os métodos empregados neste estudo não foram confirmados, a comparabilidade com outras investigações é limitada. A FE, isoladamente, não permite classificar globalmente a normalidade cardíaca. A avaliação do coração do atleta também requer considerar características individuais e exposição ao treinamento (Pelliccia et al., 2018).

ISSN 2317-1316

Na análise de sensibilidade, a FE derivada dos volumes apresentou associação com VO_2pico semelhante à observada para a FE utilizada na análise principal: respectivamente, r = 0,269; p = 0,193 e r = 0,271; p = 0,191. Essa proximidade indica que a escolha entre as duas medidas não alterou a conclusão estatística dessa comparação, embora não esclareça a origem das diferenças entre elas.

A associação entre METs e VO_2pico exige cautela: METs expressam demanda metabólica, não diretamente velocidade, inclinação ou potência externa. Os valores de METs não coincidiram uniformemente com VO_2pico/3,5. Sem esclarecer se foram estimados pelo protocolo ou derivados da análise dos gases, essa correlação não deve ser interpretada como evidência fisiológica independente. Se calculados do mesmo VO_2, haveria dependência matemática entre as variáveis (Jetté, Sidney e Blümchen, 1990).

3.5 Limitações

O delineamento transversal, a seleção por disponibilidade e o tamanho amostral limitam a generalização e impedem inferências causais. Não houve ajuste por características corporais, posição de jogo, histórico clínico ou cargas recentes de treinamento. A ausência de três avaliações ecocardiográficas por transferências contratuais pode introduzir viés de seleção, cuja magnitude não foi estimada. Essas limitações devem ser consideradas na interpretação do estudo, em consonância com os princípios de transparência para estudos observacionais do STROBE (von Elm et al., 2007).

A faixa ampla de horários, o ambiente sem controle rigoroso, a ingestão não controlada de psicoestimulantes e o repouso prévio não padronizado podem aumentar a variabilidade da VFC entre participantes. Os 120 segundos analisados não equivalem a um período padronizado de estabilização. A falta de detalhamento da detecção e correção de artefatos limita a avaliação da qualidade dos intervalos entre batimentos e a reprodutibilidade dos índices (Shaffer e Ginsberg, 2017; Shaffer, Meehan e Zerr, 2020).

A ausência de identificação dos métodos ecocardiográficos e as diferenças entre FE e volumes em três exames limitam a interpretação estrutural, apesar da referência às recomendações da ASE. Essas diferenças são distintas dos exames ausentes por transferências. O método de obtenção dos METs, a janela temporal de média dos gases e a

ISSN 2317-1316

calibração não foram detalhados, restringindo a reprodutibilidade. A avaliação em um único período não permite atribuir mudanças fisiológicas ao treinamento.

4 CONCLUSÃO

Em 28 futebolistas profissionais na pré-temporada, não houve evidência estatística suficiente de associação entre LnRMSSD basal e VO_2pico. A FC de repouso aferida com a VFC associou-se inversamente ao LnRMSSD após ajuste de Holm. A associação positiva entre METs e VO_2pico requer esclarecimento do cálculo dos METs e não constitui evidência independente de adaptação fisiológica. Os parâmetros ventriculares não apresentaram associações significativas com VO_2pico, com estimativas imprecisas e limitações de mensuração. Esses achados não demonstram independência entre modulação autonômica e capacidade aeróbia nem estabelecem utilidade preditiva individual. Estudos longitudinais com protocolos padronizados poderão esclarecer essas relações.

5 DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Durante a elaboração deste trabalho, utilizou-se ChatGPT, da OpenAI, modelo GPT-6 Astra, configuração de raciocínio médio, como apoio à organização do manuscrito, revisão linguística, tradução, pesquisa bibliográfica, elaboração e execução de código de conferência estatística e preparação de tabelas e figura. A ferramenta não foi considerada autora. A responsabilidade pela precisão dos dados, adequação ética, interpretação e conteúdo final cabe aos autores e orientadores. O manuscrito foi revisado pelos orientadores antes da submissão.

6 REFERÊNCIAS

AMERICAN THORACIC SOCIETY; AMERICAN COLLEGE OF CHEST PHYSICIANS. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, v. 167, n. 2, p. 211–277, 2003. doi: 10.1164/rccm.167.2.211.

BUCHHEIT, M. Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? Frontiers in Physiology, v. 5, artigo 73, 2014. doi: 10.3389/fphys.2014.00073.

ESCO, M. R.; FLATT, A. A. Ultra-short-term heart rate variability indexes at rest and post-exercise in athletes: evaluating the agreement with accepted recommendations. Journal of Sports Science and Medicine, v. 13, n. 3, p. 535–541, 2014. PMID: 25177179.

JETTÉ, M.; SIDNEY, K.; BLÜMCHEN, G. Metabolic equivalents (METS) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of functional capacity. Clinical Cardiology, v. 13, n. 8, p. 555–565, 1990. doi: 10.1002/clc.4960130809.

ISSN 2317-1316

LANG, R. M. et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. Journal of the American Society of Echocardiography, v. 28, n. 1, p. 1–39.e14, 2015. doi: 10.1016/j.echo.2014.10.003.

MUNOZ, M. L. et al. Validity of (ultra-)short recordings for heart rate variability measurements. PLOS ONE, v. 10, n. 9, e0138921, 2015. doi: 10.1371/journal.pone.0138921.

PELLICCIA, A. et al. European Association of Preventive Cardiology (EAPC) and European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) joint position statement: recommendations for the indication and interpretation of cardiovascular imaging in the evaluation of the athlete's heart. European Heart Journal, v. 39, n. 21, p. 1949–1969, 2018. doi: 10.1093/eurheartj/ehx532.

PLEWS, D. J.; LAURSEN, P. B.; STANLEY, J.; KILDING, A. E.; BUCHHEIT, M. Training adaptation and heart rate variability in elite *endurance* athletes: opening the door to effective monitoring. Sports Medicine, v. 43, n. 9, p. 773–781, 2013. doi: 10.1007/s40279-013-0071-8.

SHAFFER, F.; GINSBERG, J. P. An overview of heart rate variability metrics and norms. Frontiers in Public Health, v. 5, artigo 258, 2017. doi: 10.3389/fpubh.2017.00258.

SHAFFER, F.; MEEHAN, Z. M.; ZERR, C. L. A critical review of ultra-short-term heart rate variability norms research. Frontiers in Neuroscience, v. 14, artigo 594880, 2020. doi: 10.3389/fnins.2020.594880.

STØLEN, T.; CHAMARI, K.; CASTAGNA, C.; WISLØFF, U. Physiology of soccer: an update. Sports Medicine, v. 35, n. 6, p. 501–536, 2005. doi: 10.2165/00007256-200535060-00004.

VON ELM, E. et al. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. PLOS Medicine, v. 4, n. 10, e296, 2007. doi: 10.1371/journal.pmed.0040296.