

Resiliência Cardiopulmonar em Indivíduos Altamente Ativos: Análise de Testes de Esforço Cardiopulmonar Pré e Pós-Covid-19

Cardiopulmonary Resilience in Highly Active Individuals: Pre-Post COVID-19 Cardiopulmonary Exercise Testing Analysis

Fabrício Braga,^{1,2} Gabriel Espinosa,¹ Amanda Monteiro,¹ Mauricio Milani,^{3,4,5} Juliana Paiva,^{1,6} Juliana Goulart Prata Oliveira Milani,^{3,4} Leandro Franzoni,⁸ Ricardo Stein,⁸ Gerson Cipriano Jr.,⁷ Jonas Lírio Gurgel,^{1,9} Ricardo Mourilhe-Rocha^{2,10}

Laboratório de Performance Humana,¹ Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,² Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias da Saúde, Universidade de Brasília (UnB),³ Brasília, DF – Brasil

Hasselt University, REVAL/BIOMED,⁴ Hasselt – Bélgica

Heart Centre Hasselt, Jessa Hospital,⁵ Hasselt – Bélgica

Universidade Federal do Rio de Janeiro,⁶ Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Universidade de Brasília,⁷ Brasília, DF – Brasil

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,⁸ Porto Alegre, RS – Brasil

Universidade Federal Fluminense,⁹ Niterói, RJ – Brasil

Complexo Hospitalar Américas- Vitória e Samaritano Barra,¹⁰ Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Resumo

Fundamento: A pandemia de covid-19 afetou milhões de pessoas em todo o mundo, com impactos persistentes que se estendem além da fase aguda. Um desses efeitos é a condição conhecida como pós-covid (ou covid longa), caracterizada por sintomas como fadiga e intolerância ao exercício com duração superior a 60 dias. Embora o exercício físico regular esteja associado à redução do risco de desfechos graves, relatos de queda no desempenho atlético após a infecção — mesmo entre indivíduos altamente ativos (IAAs) — têm gerado preocupações quanto aos efeitos de longo prazo sobre a saúde física. O teste de esforço cardiopulmonar (TECP) é uma ferramenta valiosa para avaliar a intolerância ao exercício e investigar as consequências metabólicas e ventilatórias da covid-19.

Objetivo: Avaliar o impacto da covid-19 na função cardiopulmonar de IAAs por meio da análise das respostas metabólicas e ventilatórias obtidas em TECP realizado antes e após a infecção.

Métodos: Foram analisados retrospectivamente dados de TECP de IAAs de ambos os sexos. Os desfechos primários incluíram alterações no consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2\text{pico}}$) e na eficiência ventilatória (relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$). O nível de significância estatística foi estabelecido em 5% ($p < 0,05$).

Resultados: Foram incluídos 43 IAAs (72,1% do sexo masculino; 44 ± 10 anos). O intervalo mediano entre os testes foi de 479 dias, sendo o segundo TECP realizado em média 44 ± 27 dias após a infecção por covid-19. Observou-se uma redução média de 1,5 ml/kg/min no $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ ($p = 0,017$), correspondendo a uma diminuição de 3,84% nos valores previstos de $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ ($p = 0,045$). A relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ aumentou em média 1,2 ($p = 0,017$).

Conclusão: Embora os IAAs não sejam imunes aos efeitos da covid-19, seu elevado nível basal de atividade física parece conferir uma considerável resiliência cardiopulmonar. As alterações observadas após a infecção foram mínimas, sugerindo que a manutenção da aptidão física pode oferecer benefícios protetores contra sequelas prolongadas da doença.

Palavras-chave: Aptidão Cardiorrespiratória; Exercício Físico; Teste de Esforço; Desempenho Atlético.

Abstract

Background: The COVID-19 pandemic has affected millions globally, with persistent impacts extending beyond the acute phase. One such effect is post-COVID (long COVID), characterized by symptoms such as fatigue and exercise intolerance lasting more than 60 days. Although regular exercise is associated with reduced risk of severe outcomes, reports of decreased athletic performance after COVID-19 — even among highly active individuals (HAIs) — have raised concerns regarding the long-term effects on physical health. Cardiopulmonary exercise testing (CPET) is a valuable tool to assess exercise intolerance and to investigate the metabolic and ventilatory consequences of COVID-19.

Correspondência: Leandro Franzoni •

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – Rua Itaboraí, 683. CEP 90040-060, Porto Alegre, RS – Brasil

E-mail: franzoni.esef@gmail.com

Artigo recebido em 06/02/2025, revisado em 06/05/2025, aceito em 04/06/2025

Editor responsável pela revisão: Gláucia Maria Moraes de Oliveira

DOI: <https://doi.org/10.36660/abc.20250094>

Objectives: To evaluate the impact of COVID-19 on cardiopulmonary function in HAs by analyzing metabolic and ventilatory responses using CPET before and after infection.

Methods: CPET data were retrospectively analyzed from HAs of both sexes. Primary outcomes included changes in peak oxygen uptake ($\dot{V}O_{2peak}$) and ventilatory efficiency ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope). Statistical significance was set at 5% ($p < 0.05$).

Results: A total of 43 HAs (72.1% male; 44 ± 10 years) were included. The median interval between CPETs was 479 days, with testing performed a mean of 44 ± 27 days after COVID-19. $\dot{V}O_{2peak}$ decreased by a mean of 1.5 mL/kg/min ($p = 0.017$), representing a 3.84% reduction in predicted $\dot{V}O_{2peak}$ values ($p = 0.045$). $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope increased by 1.2 ($p = 0.017$).

Conclusion: Although HAs are not immune to the effects of COVID-19, their high baseline physical activity levels appear to confer substantial cardiopulmonary resilience. Only minimal post-infection alterations were observed, which suggests that maintaining fitness may provide protective benefits against long-term sequelae of COVID-19.

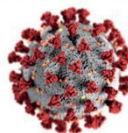
Keywords: Cardiorespiratory Fitness; Exercise; Exercise Test; Athletic Performance.

Full texts in English - <https://abccardiol.org/en/>

Figura Central: Resiliência Cardiopulmonar em Indivíduos Altamente Ativos: Análise de Testes de Esforço Cardiopulmonar Pré e Pós-Covid-19



- Indivíduos altamente ativos
- Quais são os efeitos da covid-19?
- Capacidade cardiopulmonar



Indivíduos altamente ativos – pré-covid

versus

Indivíduos altamente ativos – pós-covid

479 dias entre os TECP pré e pós-covid

Média de 44 dias após a infecção por covid-19

Redução de 1,5 ml/kg/min no $\dot{V}O_{2pico}$ ($p = 0,01$)

3,84% abaixo dos valores previstos de $\dot{V}O_{2pico}$ ($p = 0,04$)

Aumento de 1,2 na inclinação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ ($p = 0,01$)

Arq Bras Cardiol. 2025; 122(9):e20250094

Introdução

A pandemia de covid-19, iniciada em dezembro de 2019 em Wuhan, China, já afetou mais de 600 milhões de pessoas e resultou em mais de 6 milhões de mortes em todo o mundo ao longo de cinco ondas de infecção nos últimos 3 anos.¹ Os sintomas da covid-19 são conhecidos por persistirem além da fase aguda, resultando em sequelas pós-agudas denominadas síndrome pós-covid (ou covid longa), caracterizada por manifestações clínicas com duração superior a 60 dias.^{2,3} Embora os mecanismos subjacentes ainda não estejam completamente elucidados, a fadiga e a intolerância ao exercício estão entre os sintomas mais frequentemente relatados.⁴

O teste de esforço cardiopulmonar (TECP) é considerado o padrão-ouro para avaliação da intolerância ao esforço e

é recomendado na investigação de indivíduos com covid longa.⁵⁻⁷ Apesar dos efeitos protetores bem estabelecidos da prática regular de atividade física e da elevada aptidão cardiorrespiratória (ACR) contra formas graves da doença e suas sequelas, até mesmo atletas têm relatado redução no desempenho físico após infecção por covid-19.⁸ Estudos baseados em TECP descreveram diversas alterações nessa população, incluindo redução da ACR, início precoce do metabolismo anaeróbio e padrões ventilatórios anormais. No entanto, poucos estudos compararam dados de TECP realizados antes e após a infecção em indivíduos fisicamente ativos.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi comparar as respostas metabólicas e ventilatórias obtidas por meio de TECP realizado antes e depois da infecção por covid-19 em indivíduos altamente ativos (IAAs).⁹

Métodos

Este estudo transversal envolveu uma análise *ex post facto* de dados de TECP coletados entre maio de 2020 e setembro de 2022 em dois centros de cardiologia do esporte. Foram considerados elegíveis os indivíduos que atendiam a todos os seguintes critérios: (1) idade ≥ 18 anos; (2) nível 4 na Saltin-Grimby Physical Activity Level Scale (SGPALS), o que indica treinamento intenso e regular para esportes competitivos;¹⁰ (3) TECP realizado como parte da avaliação pós-covid-19 antes da retomada de treinos competitivos com alto volume ou alta intensidade; e (4) disponibilidade de um TECP pré-covid-19 realizado no mesmo ergômetro.

O estudo foi aprovado pelos comitês de ética das duas instituições participantes (CAAE 33729120.5.0000.5253 e 35706720.4.0000.8093). Todos os procedimentos foram conduzidos de acordo com a Declaração de Helsinque da Associação Médica Mundial, versão de 2013.

O TECP foi realizado em esteira ergométrica (Centurium 200) ou em cicloergômetro com freio eletromagnético (Schoberer Rad Meßtechnik [SRM], Alemanha), com análise de gases respiratórios em tempo real (*breath-by-breath*) utilizando o sistema Metalyzer 3B (Cortex). Nos testes realizados em cicloergômetro, a geometria da bicicleta foi ajustada conforme as preferências individuais, e os participantes foram orientados a utilizar vestuário adequado para ciclismo. O protocolo teve início com 2 minutos de repouso, seguidos por 5 minutos de aquecimento em carga constante (100 W para homens e 50 W para mulheres). Em seguida, foi aplicado um protocolo em rampa, com incrementos de carga de 25 W/min para homens e 15 W/min para mulheres, até a exaustão voluntária. Os participantes foram instruídos a manter uma cadência compatível com seus treinos habituais, sendo o teste encerrado quando a cadência caía abaixo de 70 rpm, mesmo com incentivo verbal. Nos testes realizados em esteira, utilizou-se um protocolo em rampa individualizado, com velocidade inicial entre 4 e 6 km/h, aumentada de forma linear conforme a idade e o nível de desempenho atlético autorreferido pelo participante. Para garantir sobrecarga progressiva ao longo do teste, foi incluído um aumento de inclinação de 0,5% a cada 2 minutos. Todos os procedimentos seguiram as recomendações nacionais de mitigação da transmissão viral.¹¹

O protocolo e a metodologia para a análise de gases ventilatórios, conforme previamente descrito,^{12,13} incluíram espirometria pré-exercício para avaliação da capacidade vital forçada (CVF) e do volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF₁). As variáveis analisadas no TECP incluíram consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$), frequência cardíaca (FC), frequência respiratória (FR), volume corrente (VC) e ventilação ($\dot{V}E$) nos primeiros (VT₁) e segundos (VT₂) limiares ventilatórios, bem como no pico do exercício. A eficiência ventilatória foi avaliada por meio do equivalente ventilatório para o dióxido de carbono ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$) nos momentos de VT1, VT₂, pico e também pela inclinação da relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$.

Um médico experiente determinou os limiares ventilatórios e os valores de pico. A inclinação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ foi calculada até o VT₂. Os valores de $\dot{V}O_{2,pico}$ e $\dot{V}E$ foram definidos como a maior média móvel de 30 segundos registrada durante o último minuto de esforço. Os valores previstos de

$\dot{V}O_{2,pico}$ foram baseados em padrões de referência nacionais estabelecidos e utilizados para a classificação da aptidão cardiorrespiratória (ACR).¹⁴

A variação percentual ($\Delta\%$) no $\dot{V}O_{2,pico}$ e na relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ foi calculada como a diferença entre os valores pós-covid-19 e pré-covid-19, dividida pelo valor pré-COVID-19. Essas variações foram comparadas com as diferenças críticas (*critical differences*, CD) propostas por Rose et al. (2018) — 13% para o $\dot{V}O_{2,pico}$ e 10% para a relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$.¹⁵ Esse limiar foi utilizado para determinar se as alterações observadas poderiam ter relevância clínica e biológica.

Análise estatística

Dado o caráter exploratório deste estudo, não foi realizado cálculo de tamanho amostral a priori. Em vez disso, adotou-se um delineamento abrangente, incluindo todos os indivíduos que atendiam aos critérios de elegibilidade. As variáveis contínuas foram expressas como média $\pm$ desvio padrão (DP) para dados com distribuição normal, ou como mediana e intervalo interquartil (25º percentil; 75º percentil) para dados com distribuição não normal, conforme determinado pelo teste de Shapiro-Wilk. Para comparação de dados paramétricos, utilizou-se o teste *t* pareado; para dados não paramétricos, foi aplicado o teste de postos sinalizados de Wilcoxon. As diferenças medianas para variáveis não paramétricas foram estimadas pelo método de Hodges-Lehmann.

O nível de significância estatística foi estabelecido em $p < 0,05$ para todas as análises. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando o software IBM SPSS Statistics for Windows, versão 29.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EUA).

Resultados

A Figura 1 apresenta o fluxograma de inclusão dos participantes. Um total de 43 indivíduos altamente ativos (IAAs) atendeu aos critérios de inclusão e foi incluído na análise (72,1% do sexo masculino; 42 ± 10 anos). O tempo médio entre o diagnóstico de covid-19 e a realização do TECP pós-infecção foi de 44 ± 27 dias. O intervalo mediano entre os TECPs pré e pós-infecção foi de 479 dias (IIQ: 546 dias). O TECP foi realizado em cicloergômetro em 55,8% dos casos. Quase todos os participantes apresentaram quadro agudo leve, e nenhum necessitou de hospitalização.

A Tabela 1 resume as variáveis do TECP antes e após a infecção por covid-19. Não foram observadas alterações significativas nos parâmetros espirométricos (CVF e VEF₁). No entanto, foram identificadas alterações discretas, porém estatisticamente significativas, em algumas variáveis do TECP. Tanto o $\dot{V}O_2$ no VT₂ quanto o $\dot{V}O_{2,pico}$ apresentaram leves reduções. A variação percentual mediana no $\dot{V}O_{2,pico}$ foi inferior ao limite de -13% considerado clinicamente significativo ($p \leq 0,001$). Apenas seis participantes (14%) apresentaram redução no $\dot{V}O_{2,pico}$ superior a esse limiar após a covid-19.

A relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ no pico aumentou significativamente após a infecção. No entanto, nenhum outro parâmetro de eficiência ventilatória apresentou alteração significativa. A variação percentual mediana na relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ no pico foi

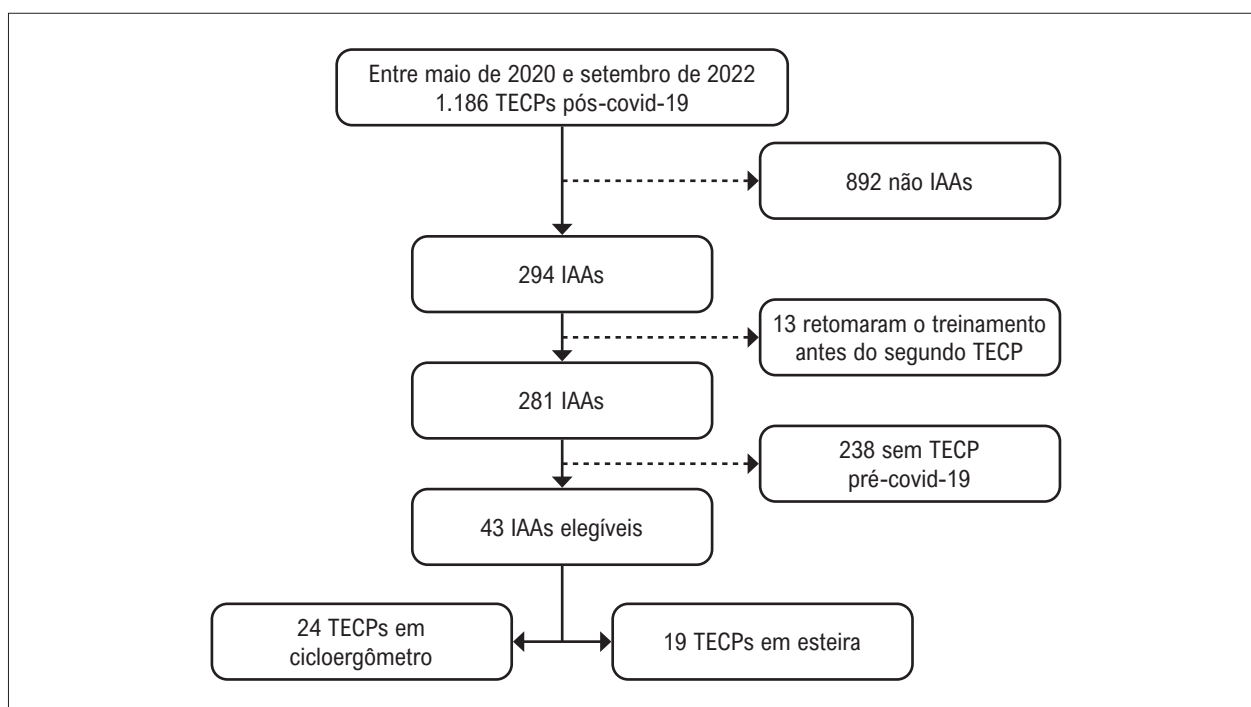


Figura 1 – Fluxograma de inclusão dos participantes com base nos critérios de elegibilidade. IAA: indivíduo altamente ativo; TEEP: teste de esforço cardiopulmonar.

inferior ao limite de 10% estabelecido como CD ($p < 0,001$). Apenas dois participantes (4,7%) apresentaram aumento acima desse limite.

A FR no VT_2 apresentou leve redução após a covid-19. Embora estatisticamente significativa, essa alteração não foi considerada clinicamente ou biologicamente relevante e não pode ser atribuída de forma definitiva aos efeitos pós-covid-19 ou à redução no volume de treinamento durante o período de recuperação.

Discussão

Este estudo avaliou o impacto da infecção por covid-19 em IAAs e identificou reduções discretas no consumo de oxigênio tanto no pico do exercício quanto no VT_2 , além de um leve aumento na razão $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ no pico. Embora estatisticamente significativas, essas alterações não indicaram comprometimento cardiopulmonar relevante. Ademais, todas as variações observadas permaneceram abaixo dos limiares de CD previamente estabelecidos, o que sugere que é improvável que representem efeitos clinicamente significativos da covid-19 sobre a função cardiopulmonar. A Figura Central resume os principais achados do estudo.

Poucos estudos avaliaram os resultados do TEEP em IAAs antes e após a infecção por covid-19. Šliž et al.¹⁶ relataram uma redução significativa no $\dot{V}O_{2pico}$, bem como no $\dot{V}O_2$ nos limiares ventilatórios VT_1 e VT_2 entre atletas de endurance. De forma semelhante aos nossos achados, esse estudo documentou uma redução de 5,9% no $\dot{V}O_{2pico}$ — uma alteração que não pôde ser atribuída de forma conclusiva

à covid-19. Nosso estudo oferece contribuições adicionais, ao incluir uma maior proporção de participantes do sexo feminino (27,9% vs 12,2%) e um intervalo mais curto entre a infecção e a realização do TEEP pós-covid-19 (44 vs 155 dias), ampliando, assim, a compreensão atual sobre o possível impacto da covid-19 na função cardiopulmonar de IAAs.

Parpa e Michaelides¹⁷ avaliaram a ACR em jogadores de futebol profissional antes e após a infecção por covid-19 e relataram reduções significativas nos valores de $\dot{V}O_{2máx}$ e no tempo de corrida em esteira após a infecção, mesmo após 60 dias de recuperação, sugerindo um impacto duradouro sobre a ACR. Em conjunto, esses resultados ressaltam os possíveis efeitos de longo prazo da covid-19 sobre o desempenho aeróbico em atletas. Vale destacar que nem o estudo de Parpa e Michaelides¹⁷ nem o de Šliž et al.¹⁶ incluíram avaliações da eficiência ventilatória.

No estudo de D'Isabel et al.¹⁸ realizado com bombeiros do Arizona, foram observadas reduções significativas no $\dot{V}O_{2pico}$ e no $\dot{V}O_2$ no VT_1 após a infecção. A diminuição média no $\dot{V}O_{2pico}$ foi de 2,55 ml/kg/min, correspondendo a uma redução de 7,3% — a maior registrada até o momento. O $\dot{V}O_2$ no VT_1 apresentou queda ainda mais acentuada, de 24,3%. Adicionalmente, observou-se piora na eficiência ventilatória, evidenciada pelo aumento da inclinação da relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ de 24,7 no período pré-infecção para 26,0 no pós-infecção. Diferentemente dos atletas de competição, os bombeiros do Arizona possuem rotinas de treinamento físico e exigências ocupacionais distintas, o que pode ter influenciado suas trajetórias de recuperação. Fatores demográficos e características regionais também

Artigo Original

Tabela 1 – Variáveis do teste de exercício cardiopulmonar antes e após a infecção por covid-19 em indivíduos altamente ativos

Variável	Antes da covid-19	Após a covid-19	Diferença pareada (IC 95%)	Valor p
Espirometria^b				
CVF, L ^c	4,75 ± 1,00	4,78 ± 1,03	–0,07 (–0,26 a –0,12)	0,455
VEF ₁ , L ^c	3,79 ± 0,74	3,86 ± 0,84	0,003 (–0,10 a 0,10)	0,956
TECP				
VO ₂ pico, l/min ^c	3,52 ± 0,74	3,42 ± 0,71	–0,10 (–0,20 a 0,002)	0,055
VO ₂ pico, ml/kg/min ^c	47,3 ± 7,1	45,8 ± 7,3	–1,5 (–2,79 a –0,29)	0,017
VO ₂ pico, % do previsto ^d	123,0 (111,3–141,2)	118,4 (109,6–137,0)	–3,84 (–7,9 a –0,08)	0,045
FC pico, bpm ^d	174 (165–181)	173 (163–182)	–0,5 (–2,5 a 1,5)	0,647
VE pico, l/min ^c	138,4 ± 32,6	134,4 ± 29,8	–4,0 (–9,5 a 1,6)	0,159
VC pico, l ^c	2,66 ± 0,59	2,67 ± 0,62	0,01 (–0,07 a 0,08)	0,792
FR pico, respirações/min ^d	54,0 (46,5–58,0)	49,7 (45,0–57,0)	–1,5 (–3,5 a 0,35)	0,079
VE/VC ₂ pico ^d	32,6 (31,3–34,7)	34,2 (32,0–36,6)	1,2 (0,25 a 2,20)	0,017
Inclinação VE/VC ₂ ^c	30,7 ± 4,0	31,3 ± 4,0	0,63 (–0,30 a 1,56)	0,176
OUES ^c	3727 ± 868	3474 ± 1025	–253 (–508 a 1)	0,051
RER pico ^c	1,16 ± 0,07	1,15 ± 0,07	–0,01 (–0,03 a 0,01)	0,453
VO ₂ no VT ₁ , l/min ^c	2,26 ± 0,54	2,21 ± 0,49	–0,06 (–0,19 a 0,07)	0,366
VO ₂ no VT ₁ , ml/kg/min ^c	30,6 ± 6,2	29,3 ± 7,5	–1,34 (–3,54 a 0,86)	0,226
FC no VT ₁ , bpm ^d	133 (119–144)	133 (119–144)	0,00 (–4,0 a 4,5)	0,913
VC no VT ₁ , l/min ^d	58,8 (46,3–71,1)	61,2 (49,5–69,3)	0,7 (–4,3 a 5,8)	0,213
FR no VT ₁ , respirações/min ^c	28,8 ± 6,9	28,1 ± 7,0	–0,7 (–2,0 a 0,7)	0,330
VC no VT ₁ , l ^d	1,96 (1,70–2,55)	2,20 (1,70–2,63)	0,07 (–0,06 a 0,21)	0,817
VE/VC ₂ no VT ₁ ^c	29,3 ± 4,0	29,3 ± 3,4	0,01 (–0,94 a 0,96)	0,980
VO ₂ no VT ₂ , l/min ^d	3,36 (2,76–3,59)	2,96 (2,67–3,50)	–0,11 (–0,25 a 0,02)	0,085
VO ₂ no VT ₂ , ml/kg/min ^c	42,4 ± 6,0	40,6 ± 6,5	–1,71 (–3,32 a –0,10)	0,038
FC no VT ₂ , bpm ^d	163 (155–173)	161 (150–169)	–0,5 (–3,5 a 2,5)	0,507
VE no VT ₂ , l/min ^d	107,8 (82,8–119,4)	93,2 (83,8–113,3)	–3,7 (–8,5 a 1,43)	0,158
FR no VT ₂ , respirações/min ^c	39,4 ± 8,1	37,6 ± 8,0	–1,8 (–3,50 a –0,06)	0,043
VC no VT ₂ , l ^c	2,61 ± 0,60	2,62 ± 0,59	0,01 (–0,08 a 0,10)	0,833
VE/VC ₂ no VT ₂ ^c	30,3 ± 3,1	30,6 ± 3,2	0,31 (–0,42 a 1,04)	0,398

Os dados são apresentados como média ± DP ou mediana (IQR), conforme apropriado. aDiferença pareada = valor pós-covid-19 menos valor pré-covid-19; IC 95% fornecido. bDados espirométricos disponíveis para 30 indivíduos. cTeste t pareado. dTeste de postos sinalizados de Wilcoxon; método de Hodges-Lehmann aplicado para diferenças medianas. FR: frequência respiratória; TECP: teste de esforço cardiopulmonar; VEF1: volume expiratório forçado no primeiro segundo; CVF: capacidade vital forçada; FC: frequência cardíaca; OUES: inclinação da eficiência de captação de oxigênio; RER: razão de troca respiratória; VE: ventilação minuto; VE/VC₂: equivalente ventilatório para dióxido de carbono; VO₂: consumo de oxigênio; VT: limiar ventilatório; VC: volume corrente.

podem ter contribuído para os desfechos observados. A natureza fisicamente extenuante do trabalho, somada à pressão adicional de responder a chamadas de emergência durante a pandemia, provavelmente gerou estresse elevado, o que pode ter prejudicado a recuperação cardiopulmonar e diferenciado essa experiência daquela vivida por populações atléticas.¹⁹

Por outro lado, Csulak et al.²⁰ conduziram um estudo com nadadores de elite, avaliando o desempenho cardiopulmonar antes e após a infecção por covid-19. Os resultados não demonstraram alterações significativas nos principais parâmetros do TECP, incluindo $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ e $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$, o que sugere que infecções leves por covid-19 tiveram impacto mínimo na função cardiopulmonar de atletas de alto rendimento.

As alterações observadas na capacidade aeróbica após a covid-19 entre IAAs podem não ser atribuídas exclusivamente ao vírus. Um estudo com atletas de endurance indicou que apenas duas semanas de destreinamento podem reduzir significativamente a função cardiopulmonar e a aptidão muscular. Isso sugere que a redução do treinamento durante o período de recuperação pode ter contribuído para o desempenho aeróbico diminuído observado em nosso estudo.²¹ Assim, é fundamental considerar o impacto da diminuição da atividade física ao interpretar alterações na função cardiopulmonar pós- covid-19.

As mudanças mínimas observadas na potência aeróbica máxima ($\dot{V}O_{2\text{pico}}$) e a preservação da capacidade oxidativa submáxima ($\dot{V}O_2$ no $\dot{V}T_l$) em nossa coorte podem ser atribuídas a diversos fatores. Pesquisas anteriores demonstraram que a atividade física pode atuar como fator protetor contra quadros graves, inclusive na covid-19.^{12,22,23} Reduções na ACR após a infecção têm sido associadas a formas graves da doença, idade avançada, sedentarismo e comorbidades.²⁴ Por outro lado, o estilo de vida atlético, a ausência de comorbidades e a relativa juventude dos participantes de nosso estudo provavelmente contribuíram para a preservação da ACR. Além disso, a pandemia afetou o comportamento em relação ao exercício físico de maneiras diversas. Estima-se que o aumento da prática de atividade física durante esse período tenha variado de 9% a 33%.²⁵ Por exemplo, os treinos virtuais de ciclismo apresentaram crescimento expressivo, impulsionados pelas medidas de confinamento, avanços tecnológicos e o apoio de grandes eventos como o Tour de France,²⁶ acompanhados por um aumento de 170% nas vendas de equipamentos para treino indoor.^{27,28} Shaw et al.²⁹ também relataram ausência de mudança no volume de treinamento entre ciclistas másters durante o confinamento. Esses achados sugerem que alguns indivíduos podem ter atingido um pico de condicionamento aeróbico antes da infecção, e que os valores observados no pós-covid-19 em nosso estudo podem refletir um retorno ao nível basal, em vez de um declínio real na função cardiopulmonar.

Este estudo apresenta diversas limitações relevantes. Primeiramente, a equivalência entre os parâmetros fisiológicos pré-covid-19 e os verdadeiros valores basais é incerta. Em segundo lugar, os comportamentos de treinamento no período pós- covid-19 e a gravidade da doença foram autorrelatados, o que introduz potencial viés de memória. Em terceiro lugar, a inclusão exclusiva de casos leves de covid-19 limita a

generalização dos achados para indivíduos que vivenciaram quadros moderados ou graves. Em quarto lugar, a ausência de um grupo controle com menor nível de atividade física restringe a possibilidade de realizar inferências comparativas. Em quinto lugar, a coleta de dados ocorreu durante os estágios iniciais da pandemia, antes da disponibilidade de vacinas e do surgimento de variantes virais posteriores. Embora isso limite a aplicabilidade a outras fases da pandemia, também oferece um panorama único do impacto inicial da covid-19 em IAAs. Em sexto lugar, a população do estudo — caracterizada por idade média de 42 anos e $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ de 47 ml/kg/min — representa um grupo altamente ativo, mas que não corresponde ao nível de atletas de elite. Portanto, os achados podem não ser generalizáveis nem para atletas de alto rendimento, nem para indivíduos menos ativos. Em sétimo lugar, o uso de diferentes ergômetros (cicloergômetro vs esteira) e a ausência de análises estratificadas por sexo podem ter introduzido variabilidade adicional nas medidas fisiológicas. Por fim, a ausência de um grupo controle verdadeiro limita a capacidade de distinguir alterações pós-covid-19 de flutuações fisiológicas normais relacionadas a interrupções no treinamento ou a outros fatores não relacionados. Estudos futuros que incorporem grupos controle e um espectro mais amplo de níveis de aptidão física serão essenciais para fornecer evidências mais abrangentes e generalizáveis.

Conclusão

Esta análise abrangente de IAAs comparou os resultados do TECP antes e após o início da pandemia de covid-19. Os resultados demonstraram uma notável resiliência cardiopulmonar do organismo em indivíduos com elevado nível de aptidão física. Embora tenham sido observadas alterações discretas na função cardiopulmonar, estas permaneceram abaixo dos limiares de CD, o que sugere uma capacidade preservada de resistir e se recuperar dos impactos fisiológicos da covid-19. Esses achados reforçam o potencial papel protetor de um estilo de vida ativo frente aos efeitos adversos de doenças infecciosas emergentes.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa e Redação do manuscrito: Braga F; Obtenção de dados: Braga F, Cipriano Jr. G; Análise e interpretação dos dados: Paiva J, Milani JGPO, Cipriano Jr. G, Gurgel JL; Obtenção de financiamento: Stein R; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo: Espinosa G, Milani M, Franzoni L, Gurgel JL, Stein R, Mourilhe-Rocha R, Monteiro A.

Potencial conflito de interesse

Não há conflito com o presente artigo.

Fontes de financiamento

O presente estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) (ROR identifier: 00x0ma614) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (nº444823/2023-9).

Artigo Original

Vinculação acadêmica

Não há vinculação deste estudo a programas de pós-graduação.

Aprovação ética e consentimento informado

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do Laboratório de Performance Humana e Universidade de Brasília, respectivamente sob o número de protocolo 33729120.5.0000.5253 e 35706720.4.0000.8093. Todos os procedimentos envolvidos nesse estudo estão de acordo com a Declaração de Helsinki

de 1975, atualizada em 2013. O consentimento informado foi obtido de todos os participantes incluídos no estudo.

Uso de Inteligência Artificial

Os autores não utilizaram ferramentas de inteligência artificial no desenvolvimento deste trabalho.

Disponibilidade de Dados

Os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos no manuscrito.

Referências

1. Our World in Data. COVID-19 Data Explorer [Internet]. Oxford: Our World in Data; 2025 [cited 2025 Jul 21]. Available from: <https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer>.
2. Carli A, Bernabei R, Landi F, Gemelli Against COVID-19 Post-Acute Care Study Group. Persistent Symptoms in Patients after Acute COVID-19. *JAMA*. 2020;324(6):603-5. doi: 10.1001/jama.2020.12603.
3. Crook H, Raza S, Nowell J, Young M, Edison P. Long Covid-Mechanisms, Risk Factors, and Management. *BMJ*. 2021;374:n1648. doi: 10.1136/bmj.n1648.
4. Sandler CX, Wyller VBB, Moss-Morris R, Buchwald D, Crawley E, Hautvast J, et al. Long COVID and Post-Infective Fatigue Syndrome: A Review. *Open Forum Infect Dis*. 2021;8(10):ofab440. doi: 10.1093/ofid/ofab440.
5. Arena R, Faghy MA. Cardiopulmonary Exercise Testing as a Vital Sign in Patients Recovering from COVID-19. *Expert Rev Cardiovasc Ther*. 2021;19(10):877-80. doi: 10.1080/14779072.2021.1985466.
6. Holdsworth DA, Barker-Davies RM, Chamley RR, O'Sullivan O, Ladlow P, May S, et al. Cardiopulmonary Exercise Testing Excludes Significant Disease in Patients Recovering from COVID-19. *BMJ Mil Health*. 2024;170(4):308-14. doi: 10.1136/military-2022-002193.
7. Singh I, Joseph P, Heerd PM, Cullinan M, Lutchmansingh DD, Gulati M, et al. Persistent Exertional Intolerance after COVID-19: Insights from Invasive Cardiopulmonary Exercise Testing. *Chest*. 2022;161(1):54-63. doi: 10.1016/j.chest.2021.08.010.
8. Stavrou VT, Kyriaki A, Vavougiou GD, Fatouros IG, Metsios GS, Kalabakas K, et al. Athletes with Mild Post-COVID-19 Symptoms Experience Increased Respiratory and Metabolic Demands: A Cross-Sectional Study. *Sports Med Health Sci*. 2023;5(2):106-11. doi: 10.1016/j.smhs.2022.10.004.
9. Baggish AL, Battle RW, Beckerman JG, Bove AA, Lampert RJ, Levine BD, et al. Sports Cardiology: Core Curriculum for Providing Cardiovascular Care to Competitive Athletes and Highly Active People. *J Am Coll Cardiol*. 2017;70(15):1902-18. doi: 10.1016/j.jacc.2017.08.055.
10. Grimby G, Börjesson M, Jonsdottir IH, Schnohr P, Thelle DS, Saltin B. The "Saltin-Grimby Physical Activity Level Scale" and its Application to Health Research. *Scand J Med Sci Sports*. 2015;25(Suppl 4):119-25. doi: 10.1111/sms.12611.
11. Grossman GB, Sellera CAC, Hossri CAC, Carreira LTF, Avanza AC Jr, Albuquerque PF, et al. Position Statement of the Brazilian Society of Cardiology Department of Exercise Testing, Sports Exercise, Nuclear Cardiology, and Cardiovascular Rehabilitation (DERC/SBC) on Activities Within its Scope of Practice During the COVID-19 Pandemic. *Arq Bras Cardiol*. 2020;115(2):284-91. doi: 10.36660/abc.20200797.
12. Braga F, Domecq F, Kalichstein M, Nobre G, Kezen J, Espinosa G, et al. Abnormal Exercise Adaptation after Varying Severities of COVID-19: A Controlled Cross-Sectional Analysis of 392 Survivors. *Eur J Sport Sci*. 2023;23(5):829-39. doi: 10.1080/17461391.2022.2054363.
13. Milani M, Milani JGPO, Cipriano GFB, Cahalin LP, Stein R, Cipriano G Jr. Cardiopulmonary Exercise Testing in Post-COVID-19 Patients: Where does Exercise Intolerance Come from? *Arq Bras Cardiol*. 2023;120(2):e20220150. doi: 10.36660/abc.20220150.
14. Milani M, Milani JGPO, Cipriano GFB, Castro I, Cipriano G Jr. Reference Standards for Cardiopulmonary Fitness in Brazil: A Pooled Analysis and Overview of Heterogeneity in National and International Studies. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2022;42(5):366-72. doi: 10.1097/HCR.0000000000000690.
15. Rose GA, Davies RG, Davison GW, Adams RA, Williams IM, Lewis MH, et al. The Cardiopulmonary Exercise Test Grey Zone: Optimising Fitness Stratification by Application of Critical Difference. *Br J Anaesth*. 2018;120(6):1187-94. doi: 10.1016/j.bja.2018.02.062.
16. Šliž D, Wiecha S, Ulaszewska K, Gąsior JS, Lewandowski M, Kasiak PS, et al. COVID-19 and Athletes: Endurance Sport and Activity Resilience Study-CAESAR Study. *Front Physiol*. 2022;13:1078763. doi: 10.3389/fphys.2022.1078763.
17. Parpa K, Michaelides M. Aerobic Capacity of Professional Soccer Players Before and after COVID-19 Infection. *Sci Rep*. 2022;12(1):11850. doi: 10.1038/s41598-022-16031-7.
18. D'Isabel S, Berny LM, Frost A, Thongphok C, Jack K, Chaudhry S, et al. The Effect of Mild to Moderate COVID-19 Infection on the Cardiopulmonary Fitness of Firefighters. *Front Public Health*. 2023;11:1308605. doi: 10.3389/fpubh.2023.1308605.
19. Cho IK, Lee HS, Song K, Ahmed O, Lee D, Kim J, et al. Assessing Stress and Anxiety in Firefighters During the Coronavirus Disease-2019 Pandemic: A Comparative Adaptation of the Stress and Anxiety in the Viral Epidemic-9 Items and Stress and Anxiety in the Viral Epidemics-6 Items Scales. *Psychiatry Investig*. 2023;20(11):1095-102. doi: 10.30773/pi.2023.0260.
20. Csulak E, Petrov Á, Kováts T, Tokodi M, Lakatos B, Kovács A, et al. The Impact of COVID-19 on the Preparation for the Tokyo Olympics: A Comprehensive Performance Assessment of Top Swimmers. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(18):9770. doi: 10.3390/ijerph18189770.
21. Chen YT, Hsieh YY, Ho JY, Lin TY, Lin JC. Two Weeks of Detraining Reduces Cardiopulmonary Function and Muscular Fitness in Endurance Athletes. *Eur J Sport Sci*. 2022;22(3):399-406. doi: 10.1080/17461391.2021.1880647.
22. Pitanga FJG, Almeida MDC, Duncan BB, Mill JG, Giatti L, Molina MDCB, et al. Leisure Time Physical Activity and SARS-CoV-2 Infection among ELISA-Brasil Participants. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(21):14155. doi: 10.3390/ijerph192114155.
23. Rahmati M, Shamsi MM, Khoramipour K, Malakoutinia F, Woo W, Park S, et al. Baseline Physical Activity is Associated with Reduced Mortality and Disease Outcomes in COVID-19: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Rev Med Virol*. 2022;32(5):e2349. doi: 10.1002/rmv.2349.
24. Schwendinger F, Knaier R, Radtke T, Schmidt-Trucksäss A. Low Cardiopulmonary Fitness Post-COVID-19: A Narrative Review. *Sports Med*. 2023;53(1):51-74. doi: 10.1007/s40279-022-01751-7.

25. Herbec A, Schneider V, Fisher A, Kale D, Shahab L, Lally P. Correlates of and Changes in Aerobic Physical Activity and Strength Training Before and after the Onset of COVID-19 Pandemic in the UK: Findings from the HEBECO Study. *BMJ Open*. 2022;12(6):e054029. doi: 10.1136/bmjopen-2021-054029.
26. McIlroy B, Passfield L, Holmberg HC, Sperlich B. Virtual Training of Endurance Cycling - A Summary of Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats. *Front Sports Act Living*. 2021;3:631101. doi: 10.3389/fspor.2021.631101.
27. Meier N, Nägler T, Wald R, Schmidt A. Purchasing Behavior and Use of Digital Sports Offers by CrossFit® and Weightlifting Athletes during the First SARS-CoV-2 Lockdown in Germany. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2022;14(1):44. doi: 10.1186/s13102-022-00436-y.
28. Shaban H. Home-Fitness Gear Surges During Pandemic [Internet]. Washington: Washington Post; 2022 [cited 2025 Jul 21]. Available from: <https://www.washingtonpost.com/road-to-recovery/2021/01/07/home-fitness-boom/>.
29. Shaw KA, Bertrand L, Deprez D, Ko J, Zello GA, Chilibeck PD. The Impact of the COVID-19 Pandemic on the Diet, Training Habits and Fitness of Masters Cyclists. *Nutr Health*. 2022;28(4):669-75. doi: 10.1177/02601060211002350.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da licença de atribuição pelo Creative Commons