



**FUNDAÇÃO  
UNIVERSIDADE  
FEDERAL DE  
MATO GROSSO DO SUL**

**ALLINY SOUZA FARIAS**

**ASSOCIAÇÃO ENTRE A ESPESSURA DIAFRAGMÁTICA E DESEMPENHO  
FÍSICO DE ATLETAS E OS EFEITOS DA INFECÇÃO POR COVID-19: UM  
ESTUDO TRANSVERSAL**

**Campo Grande – MS**

**2022**

**ALLINY SOUZA FARIAS**

**ASSOCIAÇÃO ENTRE A ESPESSURA DIAFRAGMÁTICA E DESEMPENHO  
FÍSICO DE ATLETAS E OS EFEITOS DA INFECÇÃO POR COVID-19: UM  
ESTUDO TRANSVERSAL**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento, área de concentração 21, para obtenção do título de Mestre pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) Orientadora: Christianne de Faria Coelho Ravagnani.

**Campo Grande – MS**

**2022**

**ALLINY SOUZA FARIAS**

**ASSOCIAÇÃO ENTRE A ESPESSURA DIAFRAGMÁTICA E DESEMPENHO  
FÍSICO DE ATLETAS E OS EFEITOS DA INFECÇÃO POR COVID-19: UM  
ESTUDO TRANSVERSAL**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de  
Pós-Graduação em Ciências do Movimento, área de  
concentração 21, para obtenção do título de Mestre  
pela da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
(UFMS) Orientadora: Christianne de Faria Coelho  
Ravagnani.

Campo Grande, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**CONCEITO:** \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra Christianne de Faria Coelho Ravagnani  
(Orientadora)

---

Jeeser Alves de Almeida  
(Titular)

---

Paulo de Tarso Guerrero Muller  
(Titular)

---

Ana Carolina dos Santos Demarchi  
(Externa)

## RESUMO

**Introdução:** Estudos realizados em pacientes e indivíduos saudáveis, sugerem que a hipertrofia do diafragma, ou seja, o aumento da área de secção transversa, pode resultar em maior força muscular inspiratória, consequentemente melhor eficiência ventilatória e mecânica. Por outro lado, doenças infecciosas como a COVID-19 podem impactar a estrutura e função do aparelho respiratório. Entretanto, existem ainda poucos estudos que avaliaram a espessura diafragmática de atletas, de que maneira ela se associa ao desempenho físico e os impactos da COVID-19 sobre esses desfechos. **Objetivo:** Avaliar a associação entre a espessura diafragmática e o desempenho físico de atletas e os efeitos da infecção por COVID-19 sobre esses parâmetros. **Métodos:** Trata-se de um estudo transversal, envolvendo 63 atletas de diferentes modalidades esportivas de ambos os sexos (Feminino 16,67±5,03 anos, 52,09±14,01kg, 155,90±13,86cm; Masculino 23,44±9,65anos, 72,24±14,18kg, 174,84±6,84 cm), que foram submetidos a avaliação da espessura diafragmática por meio do Ultrassom e em seguida ao teste de desempenho aeróbico (Yo-Yo test) para determinação do consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ). Utilizou-se a correlação de Pearson para verificar a associação entre  $VO_{2max}$  e espessura diafragmática e o teste t de Student foi aplicado para verificar diferenças entre atletas com diagnóstico positivo e negativo para COVID-19. O nível de significância foi ajustado em 5%. **Resultados:** Não houve associação entre a espessura diafragmática e o desempenho físico ( $r= 0.30$  e  $p= 0.22$ ) e nem diferença entre os atletas não infectados e infectados por COVID-19 em relação a espessura diafragmática ( $57,00\pm0,26$  vs  $52,00\pm0,25\%$ ;  $p=0.22$ ) e o desempenho físico ( $43,88\pm2,29$  vs  $38,34\pm13,61\text{mL/kg/min}$ ;  $p=0.22$ ), respectivamente. **Conclusão:** Nos atletas a espessura diafragmática não foi associada ao consumo máximo de oxigênio, além disso, atletas infectados por COVID-19 também não exibiram diferenças no  $VO_{2max}$  e espessura diafragmática, em relação aos atletas não infectados.

**Palavras-chave:** atletas; desempenho físico; avaliação diafragmática, COVID-19

## ABSTRACT

Studies carried out in healthy patients and individuals suggest that diaphragm hypertrophy, that is, an increase in the cross-sectional area, can result in greater inspiratory muscle strength, consequently better ventilatory and mechanical efficiency. On the other hand, infectious diseases such as COVID-19 can impact the structure and function of the respiratory system. However, there are still few studies that have evaluated the diaphragm thickness of athletes, how it is associated with physical performance and the impacts of COVID-19 on these outcomes. Therefore, the purpose of this study was to evaluate the association between diaphragm thickness and physical performance of athletes and the effects of COVID-19 infection on these parameters. This is a cross-sectional study, involving 63 athletes from different sports of both sexes (Female 16,67±5,03y, 52,09±14,01kg, 155,90±13,86cm; Male 23,44±9,65y, 72,24±14,18kg, 174,84±6,84 cm), which were submitted to evaluation of diaphragmatic thickness by ultrasound and then to the aerobic performance test (Yo-Yo test) for  $VO_{2max}$  determination. For statistical analysis, Pearson's correlation was used to verify the association between  $VO_{2max}$  and diaphragmatic thickness and Student's t test was applied to verify differences between athletes with a positive and negative diagnosis for COVID-19. The significance level was set at 5%. There was no association between diaphragmatic thickness and physical performance ( $r=0.30$  and  $p=0.22$ ) and no difference between uninfected and COVID-19 infected athletes in relation to diaphragmatic thickness ( $57.00\pm0.26$  vs  $52.00\pm0.25$ ;  $p=0.22$ ) and physical performance ( $43.88\pm2.29$  vs  $38.34\pm13.61$  mL/kg/min;  $p=0.22$ ), respectively. Conclusion: In athletes, diaphragmatic thickness was not associated with maximal oxygen consumption. In addition, athletes infected by COVID-19 did not exhibit differences in  $VO_{2max}$  and diaphragmatic thickness, in relation to uninfected athletes.

**Keywords:** athletes; physical performance; diaphragmatic assessment, COVID-19

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Valores médios e correspondentes desvios padrão das amostras coletadas dos atletas/árbitros do grupo matriz.....29

Tabela 2. Valores médios e correspondentes desvios padrão das amostras coletadas dos atletas/árbitros do grupo COVID e não COVID-19.....30

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura A. SARS-CoV-2.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 15 |
| Figura B. Medição da espessura do hemidiafragma direito por meio da colocação do transdutor linear sobre a zona de aposição (ZA) no nono espaço intercostal, entre as linhas axilar anterior e axilar média.....                                                                                                                                                                                  | 19 |
| Figura C. Aspecto ultrassonográfico do hemidiafragma esquerdo na ZA entre o nono e o décimo espaço intercostal, durante a respiração tranquila, em capacidade residual funcional.....                                                                                                                                                                                                             | 20 |
| Figura D. Medição da espessura do diafragma: a parte superior da Figura mostra a ZA de um diafragma normal, no modo B; a parte inferior mostra, no modo M, a espessura do diafragma no fim da expiração (exp), ou distância A-A, e a espessura do diafragma no fim da inspiração (insp), ou distância B-B Figura E - Fluxograma do estudo em atletas dos grupos Matriz, COVID e não COVID-19..... | 20 |
| Figura E - Fluxograma do estudo em atletas dos grupos Matriz, COVID e não COVID-19.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 24 |
| Figura F. Avaliação da espessura diafragmática.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 27 |
| Figura G. Emin (espessura mínima do diafragma, medida em CRF) e Emáx (espessura máxima do diafragma, medida em CPT) .....                                                                                                                                                                                                                                                                         | 27 |
| Figura H. Espessura diafragmática versus teste de desempenho físico em atletas.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 30 |
| Figura I. Avaliação da espessura diafragmática em atletas não infectados e infectados pela COVID-19.....                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 31 |
| Figura J. Avaliação do desempenho físico em atletas não infectados e infectados pela COVID-19.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 32 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**CEP** - Conselho de Ética em Pesquisa

**cm** – Centímetros

**COVID-19** - Coronavirus disease 19

**CPT** - Capacidade pulmonar total

**CRF** - Capacidade residual funcional

**D** - Distância

**DP** - Desvio padrão

**DPOC** - Doença pulmonar obstrutiva crônica

**Emáx** - Espessura máxima

**Emin** - Espessura mínima

**Exp** - Expiração

**FAED** - Faculdade de Educação

**FE** - Fração de espessamento

**FiO<sup>2</sup>** - Fração inspirada de oxigênio

**IF** - Índice de fadiga

**Insp** - Inspiração

**Kg** - Quilograma

**km/h** - Quilômetro por hora

**m** - Metro

**MC** - Massa corporal

**MHz** - Megahertz

**min** - Minuto

**mL** - Mililitro

**mL/kg/min** – Mililitro/ Quilograma/minuto

**NHLBI** - National Heart, Lung, and Blood Institute

**Pabs** - Potência absoluta

**PaO<sup>2</sup>** - pressão arterial de oxigênio

**Pmín** - Potência mínima

**PP** - Potência de pico

**RMC** - Ressonância Magnética Cardíaca

**SARS-CoV-2** - Coronavírus 2 da síndrome respiratória aguda grave

**SPSS** - Statistical Package for the Social Sciences

**t** - Tempo

**TCLE** - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

**US** - Ultrassom

**VO<sub>2max</sub>** - Volume de oxigênio máximo

**ZA** - Zona de aposição

## SUMÁRIO

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....                                               | 11 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA .....                                    | 13 |
| 2.1 Adaptações do sistema respiratório durante o exercício ..... | 13 |
| 2.2 Fadiga diafragmática induzida pelo exercício .....           | 14 |
| 2.3 Impacto da COVID-19 em atletas .....                         | 15 |
| 2.4 Utilização do ultrassom como instrumento de avaliação .....  | 18 |
| 3 OBJETIVOS .....                                                | 22 |
| 3.1 Objetivo Geral .....                                         | 22 |
| 3.2 Objetivos Específicos .....                                  | 22 |
| 4 METODOLOGIA.....                                               | 23 |
| 4.1 Desenho do estudo .....                                      | 23 |
| 4.1.1 Local e Período do Estudo .....                            | 23 |
| 4.1.2 Fluxograma do Estudo .....                                 | 24 |
| 4.1.3 Amostra .....                                              | 25 |
| 4.1.4 Critérios de Inclusão .....                                | 25 |
| 4.1.5 Critérios de exclusão .....                                | 25 |
| 4.2 Instrumentos de Avaliação .....                              | 26 |
| 4.2.1 Questionários e Entrevista .....                           | 26 |
| 4.2.2 Avaliação da espessura diafragmática .....                 | 26 |
| 4.2.3 Avaliação do desempenho físico .....                       | 28 |
| 4.2.4 Análise estatística.....                                   | 28 |
| 5 Resultados.....                                                | 29 |
| 6 Discussão .....                                                | 33 |
| 7 Conclusão .....                                                | 37 |
| REFERÊNCIAS.....                                                 | 38 |

## 1 INTRODUÇÃO

O diafragma é o principal músculo da respiração, responsável por aproximadamente 80% de todo o trabalho respiratório. Histologicamente, o diafragma se caracteriza por ser um músculo estriado esquelético de contração lenta e alta resistência à fadiga (Kocjan et al., 2017), composto por fibras musculares de contração lenta do tipo I (aprox. 55%) e de contração rápida do tipo IIA (aprox. 21%) (Anraku e Shargall, 2009). Tal disposição torna o diafragma um músculo bastante resistente durante atividades de alta demanda ventilatória, como por exemplo, nos exercícios físicos vigorosos e de longa duração (Archiza, 2018).

Estudos realizados em atletas e indivíduos saudáveis, sugerem que a hipertrofia do diafragma, ou seja, o aumento da área de secção transversa, pode resultar em maior força muscular inspiratória, consequentemente melhor eficiência ventilatória e mecânica pulmonar (Adamopoulos et al., 2014; Anraku e Shargall, 2009). Sugere-se que a maior espessura muscular diafragmática possa estar relacionada com melhor metabolismo oxidativo, devido à maior densidade capilar, melhor fluxo sanguíneo e maior número de mitocôndrias. Assim, a espessura aumentada poderia estar relacionada com maior captação de oxigênio, melhor  $VO_{2max}$ , menor fadiga e consequentemente melhor desempenho aeróbio (Adamopoulos et al., 2014; Anraku e Shargall, 2009).

A ultrassonografia diafragmática é uma técnica utilizada para avaliar a anatomia e função do diafragma, especificamente a excursão e o espessamento diafragmático. Recentemente o uso do Ultrassom (US) para avaliação diafragmática tem sido cada vez mais explorado na literatura e empregado na avaliação de indivíduos com diferentes doenças pulmonares, inclusive a COVID-19 (Caruso et al., 2015, Baria et al., 2014, Santana et al., 2020b, Buonsenso et al., 2020).

O uso do ultrassom para avaliação do diafragma tem sido explorado também em indivíduos saudáveis, afim de investigar a relação entre força e desempenho com espessura e mobilidade deste músculo (Boussuges et al., 2009; Spiesshoefer et al., 2020). Fatores como idade, IMC elevado, internações hospitalares e doenças pulmonares podem influenciar negativamente na espessura diafragmática (Santana et al., 2020b). Em compensação, atletas que realizaram treinamento muscular inspiratório demonstram ter espessura diafragmática aumentada, o que pode estar relacionado com melhor tolerância ao exercício e redução na sensação de dispneia, impactando em melhor desempenho em competições (Santana et al. 2019a; Santana et al., 2016; McConnell e Lomax, 2006).

Entretanto, existem ainda poucos estudos que avaliaram a espessura diafragmática de atletas e de que maneira ela se associa ao desempenho físico, sendo esta técnica escassa quando se trata desta população.

Atualmente o Coronavirus disease 19 (COVID-19) é considerada uma patologia sistêmica, afetando inúmeros tecidos e sistemas do corpo humano, mas os pulmões são os órgãos mais acometidos e relacionados à maior gravidade e mortalidade desta doença (Huang et al., 2021; Ren et al., 2021). A experiência clínica até agora indica que o desenvolvimento da COVID-19 é bastante heterogêneo, podendo ser assintomático, leve e grave (Babapoor-Farrokhran et al., 2020). Em casos onde a doença se apresenta de forma moderada ou grave, a COVID-19, pode deixar sequelas como fadiga, fraquezas musculares e cansaço persistente, este fato pode ser explicado pela capacidade de difusão pulmonar reduzida, comprometimentos pulmonares observados na radiografia pulmonar e redução na mobilidade diafragmática (Huang et al., 2021; Ren et al., 2021). Já em casos leves e assintomáticos não existem ainda estudos que realizaram avaliação completa de aspectos da morfologia diafragmática.

A avaliação do diafragma pode ser de grande importância, uma vez que com ela é possível determinar a disfunção diafragmática, avaliar o trabalho respiratório e identificar atrofia do diafragma (Zambon et al., 2017). A partir desse diagnóstico, podem ser indicados processos de reabilitação, como por exemplo a recomendação de treinamento muscular respiratório específico para atletas, visando a melhora do rendimento nos treinamentos e competições. Contudo, até onde sabemos, nenhum estudo se propôs a verificar os efeitos da infecção por COVID-19 sobre a espessura diafragmática de atletas.

Dessa maneira, os objetivos deste trabalho são: 1) avaliar a associação entre a espessura diafragmática e o desempenho físico de atletas e 2) verificar os efeitos da infecção por COVID-19 sobre esses parâmetros.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Adaptações do sistema respiratório durante o exercício**

Os sistemas respiratório e cardiocirculatório trabalham em interdependência, por meio de mecanismos eficientes de controle e retroalimentação a fim de garantir as trocas gasosas satisfatórias e a oxigenação dos tecidos periféricos (American Thoracic Society. Dispnea, 1999). A adequação relação/perfusão é dependente da integração das informações geradas a partir de quimiorreceptores centrais e periféricos, de barorreceptores e dos mecanorreceptores, aos centros de controle respiratório e cardiovascular. Portanto, ajustes precisos no volume corrente, na frequência respiratória e na circulação pulmonar e periférica são necessários para satisfazer as diferentes demandas metabólicas durante o exercício (Guyton, 2019).

O sistema respiratório é capaz de preservar uma boa aeração durante o exercício, mantendo os valores de oxigênio e de dióxido de carbono normais. Os músculos respiratórios desempenham relevante função durante o exercício, pois possibilitam adequada captação de oxigênio (Ratnovsky et al., 2008; Amonette e Dupler, 2002). Atletas de alto nível realizam milhares de ciclos respiratórios durante uma competição e necessitam de adequada oferta de oxigênio para desenvolverem o trabalho respiratório e consequente desempenho em determinada atividade (Amonette e Dupler, 2002).

Para Harms et al. (2000), o exercício exaustivo dos músculos respiratórios pode ser responsável por 10% do consumo total de oxigênio em indivíduos moderadamente ativos e 15% em indivíduos altamente ativos. Muitos autores acreditam que a disfunção dos músculos respiratórios seja a mais importante alteração fisiomecânica a ser considerada quando não há ventilação pulmonar adequada. Um dos principais fatores que pode contribuir para o aparecimento dessa alteração é a redução da força muscular (Azeredo, 2002).

De acordo com Tarantino (2002), os músculos inspiratórios podem ser afetados em sua capacidade de gerar força ou endurance, podendo ocasionar inadequada ventilação pulmonar, especialmente durante o exercício, quando a demanda está aumentada. Fortalecendo a hipótese de que o desempenho atlético está diretamente ligado à função respiratória.

Numa revisão realizada por Illi et al. (2012), foi investigada a diferença no desenvolvimento de fadiga muscular inspiratória sobre a aptidão dos indivíduos. Estes

autores observaram que a fadiga muscular inspiratória depende do nível de treinamento dos indivíduos em comparação aos sedentários durante um exercício físico exaustivo. Este fato pode ser explicado pelo aumento na percepção de dispneia e de exaustão de membros inferiores, consequente ativação do metaborreflexo muscular respiratório, levando indivíduo a limitação ao exercício de alta intensidade.

## **2.2 Fadiga diafragmática induzida pelo exercício**

Segundo o consenso do National Heart, Lung, and Blood Institute (NHLBI), a fadiga muscular é considerada como “uma condição pela qual existe perda na capacidade de geração de força e/ou velocidade de um músculo, resultado de atividade muscular sob carga, reversível por repouso”, enquanto que fraqueza muscular é definida como “uma condição pela qual a capacidade de gerar força de um músculo em repouso é prejudicada” (NHLBI, 1990). Sendo assim, a fadiga neuromuscular foi previamente definida como inabilidade em manter ou repetir a força ou potência muscular necessária durante um intervalo de tempo.

A fadiga muscular inspiratória é conhecida em atletas de rendimento e praticantes de todos os esportes. Evidências comprovam que a fadiga da musculatura inspiratória resulta em ativação das fibras aferentes tipo IV, aumentando a hiperatividade simpática, com consequente aumento da resistência vascular periférica em áreas de musculatura ativa e inativa (Dempsey et al., 2006; Dempsey et al., 2008).

Dempsey et al. (2006) e Romer et al. (2006), comprovaram que, na sinalização dessa fadiga, o diafragma aumenta o número de metabólitos, acionando a descarga aferente do frênico, aumentando a vasoconstrição, por conseguinte diminuindo o transporte de oxigênio e gerando assim uma fadiga inspiratória e motora. Esse fenômeno intitula-se metaborreflexo inspiratório. Portanto, a fadiga da musculatura inspiratória pode gerar vasoconstrição periférica e, consequentemente, reduzir o fluxo sanguíneo para a musculatura esquelética, com importantes consequências para o desempenho físico.

O diafragma é responsável por aproximadamente 70% do processo ventilatório, sendo portanto, o principal músculo da ventilação (Berne e Levy et al., 2000). Quando o diafragma se contrai, o conteúdo abdominal é forçado para baixo e para frente, e a dimensão vertical da cavidade torácica é aumentada. Sendo assim, supõem-se que, tanto

a espessura quanto a mobilidade diafragmática podem determinar a eficiência da mecânica durante a entrada ou saída de ar das vias aéreas.

A diminuição do fluxo sanguíneo periférico não é a causa, mas a consequência da falta de oxigênio na musculatura diafragmática. Ou seja, para solucionar essa ausência, existe uma ativação das vias aferentes tipo IV, emitindo um sinal ao cérebro, que deverá ser suprida através do fluxo sanguíneo dos membros inferiores (Amann et al., 2006).

Desta forma fica claro que os músculos respiratórios estão associados à fadiga inspiratória e à vasoconstrição periférica, aumentando a fadiga dos músculos periféricos e impactando diretamente no desempenho físico de atletas, especialmente nas modalidades de resistência, que possuem predominância do metabolismo aeróbio. Portanto, pode-se supor que o diafragma de maior tamanho, ou seja, com maior espessura possa estar relacionada com o aumento da área de secção transversa, este aumento pode resultar em maior fluxo sanguíneo, maior vascularização e maior número de mitocôndrias consequentemente maior força muscular inspiratória, podendo impactar no desempenho.

### 2.3 Impacto da COVID-19 em atletas

No final do ano de 2019 a Organização Mundial da Saúde (OMS) foi notificada pelo surgimento de um novo vírus que foi identificado como um novo coronavírus (SARS-CoV-2, coronavírus 2 da síndrome respiratória aguda grave), (Figura A), e recebeu a denominação de COVID-19. Segundo Croda e Garcia (2020), até o final do mês de fevereiro de 2020, eram quase 80 mil casos confirmados e 2.838 óbitos na China, e aproximadamente 6 mil casos confirmados e 86 óbitos em outros países, entretanto, o Brasil teve o primeiro caso de COVID-19 confirmado em 26 de fevereiro de 2020.

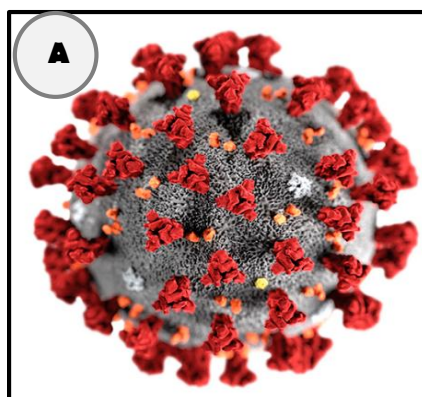


Figura A. SARS-CoV-2.

Fonte: Guimarães Guimarães (2020)

Desde então uma grande pandemia começou a surgir e medidas preventivas foram tomadas em vários países, principalmente no Brasil, como o distanciamento, o isolamento social, e o cancelamento de treinamentos e competições, limitando o contato próximo entre as pessoas. Esta condição gerou em todo o mundo diversas consequências na realidade esportiva, e as medidas de proteção adotadas pelos governos limitaram as condições de treino, alteraram calendários, fizeram adiamentos e até o cancelamento de muitas competições, bem como o adiamento das olimpíadas de 2020, o maior evento esportivo do mundo, gerando impacto psicológico, físico e financeiro para diversos atletas (Ornell et al., 2020).

Embora a grande maioria dos atletas tenham um menor risco de desenvolverem sintomas graves em consequência do Coronavirus disease - 19 (COVID-19), mesmo que não possuem comorbidades relacionadas como hipertensão e obesidade (Dorn et al., 2020), as estratégias de prevenção são fundamentais para impedir que sirvam de canais de transmissão do vírus, diminuindo o risco de contaminação à população vulnerável frente aos efeitos adversos graves (Shi et al., 2020).

A literatura demonstra que a patogênese da pós-COVID não é completamente elucidada. Sabe-se, porém, que se trata de uma desordem multissistêmica associada às lesões diretas causadas pelo SARS-CoV-2 e à sua persistência no organismo infectado, o que favorece a ativação de mecanismos inflamatórios e imunomoduladores, os quais contribuem para o surgimento de sintomas heterogêneos. Para os atletas, o pós-COVID pode impactar diretamente na capacidade física, acarretando em comprometimento da performance esportiva e possíveis complicações cardiovasculares (Jain, 2020).

Os indivíduos gravemente enfermos por COVID-19 tem diferentes apresentações pulmonares, e divide os fenótipos pulmonares em tipo L (low) e tipo H (high). O tipo L mostra baixa elasticidade (complacência normal), baixa razão de ventilação e perfusão (VA/Q), baixo peso pulmonar e baixa recrutabilidade alveolar, haja visto, que os alvéolos estão insuflados, então manobras de recrutamento tem baixo impacto) (Gattinoni et al., 2020). O tipo H, por sua vez, indica alta elasticidade, ocorrendo assim o aumento de edema e a diminuição do volume de ar, alto shunt direita esquerda, alto peso pulmonar e alta recrutabilidade alveolar, aumentando os tecidos não aerados que podem ser efetivamente recrutados (Musumeci et al., 2020).

Em geral, as complicações pulmonares ocasionadas pelo COVID-19, podem resultar em sequelas permanentes. Estas sequelas vão desde sintomas leves como falta de ar a sintomas mais graves como a utilização de oxigênio suplementar após a doença. Isso

ocorre devido a destruição de parênquima pulmonar, fraqueza muscular respiratória e provável redução de mobilidade diafragmática. Estas sequelas podem de certa forma afetar o desempenho físico, uma vez que o diafragma é o principal músculo da respiração.

A miocardite deve ser considerada como uma possível sequela tardia da COVID-19 pelo seu grau arritmogênico. Na avaliação, além de sintomas cardiovasculares e queda da capacidade funcional, podem ser encontradas alterações eletrocardiográficas e de Ressonância Magnética Cardíaca (RMC), podendo evidenciar disfunção ventricular, edema miocárdico e realce tardio (Rajan et al., 2021).

Especificamente sobre a população atlética, sobre a qual existe uma preocupação acerca da interação entre o estímulo adrenérgico e hemodinâmico da prática do exercício intenso e uma eventual cardiopatia não diagnosticada, o risco de uma possível miocardite secundária a uma infecção viral é algo alarmante (Office for National Statistics, 2020). Alterações adaptativas ao esforço podem ser confundidas com achados patológicos, portanto a correta interpretação deve ser feita por profissional familiarizado com tais achados, evitando erro diagnóstico (NIHR, 2021; Cipollaro, 2020).

Mais recentemente, foi feita uma metanálise com 890 jovens, com resultados de alguma anormalidade na RMC em 46,4% da amostra e sinais de miocardite em 14% dos participantes (Salamanna, et al., 2021). De acordo com a lesão miocárdica aguda, as sequelas cardíacas decorrentes da inflamação residual ou da fibrose podem ser persistentes, Moura et al. (2021), com capacidade de ocorrer complicações cardíacas até mesmo em pacientes sem complicações respiratórias graves, o que frisa a relevância da investigação do envolvimento cardíaco subclínico (Inciard et, al 2020; Toresdahl e Asif, 2020).

Zhang et al. (2020) e NHS England (2020), anteciparam em seus estudos possíveis sequelas respiratórias da COVID-19 que podem ocorrer a longo prazo, Cui et al. (2020) associa-se ao elevado predomínio de tromboembolismo venoso e trombose in situ, e que conforme a doença tromboembólica crônica e a hipertensão pulmonar poderão aparecer como complicações futuras, impactando no rendimento do esforço físico. Desta forma, a doença intersticial pulmonar e a doença vascular pulmonar apontam ser as principais sequelas respiratórias da COVID-19 (Moura et al., 2021).

A literatura evidencia que a maioria dos casos de COVID-19 em atletas são assintomáticos ou sintomáticos leves. Uma avaliação com 26 atletas demonstrou uma prevalência de doença leve em 54,0% dos casos, seguida de 23,0% de casos assintomáticos, 19,0% moderados e 4,0% graves (McKinney et al, 2021). Haja vista, que

no contexto de exercício intenso, diversos atletas reportam sintomas persistentes, especificamente tosse e dispneia (Wilson et al, 2020).

De acordo com Jewson et al. (2020) e Elliott et al. (2020), é fundamental ao atleta que antes do seu regresso à atividade desportiva, que faça a prática de atividades de vida diária sem que haja o aparecimento de sintomas. A reabilitação e o retorno à competição dependem de fatores que englobam o trabalho de uma equipe multidisciplinar que integra vários profissionais da saúde, o treinador e entre outros, atestando um regresso seguro à atividade desportiva (Dove et al., 2020).

## **2.4 Utilização do ultrassom como instrumento de avaliação**

Recentemente o uso do Ultrassom (US), para avaliação diafragmática tem sido explorado na literatura e empregada na avaliação de indivíduos com doenças como a fibrose cística, DPOC, apneia obstrutiva do sono e até mesmo na COVID-19 (Boccatonda et al., 2018; Dufresne et al., 2009; Buonsenso et al., 2020). Porém, esta técnica ainda é pouco conhecida e estudada em populações saudáveis e atletas.

A ultrassonografia diafragmática é uma técnica útil para avaliar a anatomia e função do diafragma, especificamente a excursão e o espessamento diafragmático. Com o surgimento do exame ecográfico, as partes mais observadas são a costal, crural e o centro tendíneo, já a parte esternal é raramente visualizada (Boussuges et al., 2009; Alerhand et al., 2018). De acordo com Ueki et al. (1995) e Cohn et al. (1997), observou-se que o ultrassom permite uma avaliação direta da espessura do diafragma. Estes autores também constataram durante as avaliações realizadas em seus estudos que existia uma correlação positiva entre volume pulmonar e espessura do diafragma em indivíduos normais. A padronização da técnica do ultrassom tem sido cada vez mais aprimorada permitindo a mensuração tanto da mobilidade como da espessura diafragmática, de forma reprodutível e acurada. (Cohn et al., 1997; Ueki et al., 1995).

A ultrassonografia diafragmática pode ser empregada para avaliar a função muscular através da mensuração de parâmetros, dentre elas estão a amplitude, o movimento, a força e a velocidade de contração, além da espessura no decorrer da inspiração e expiração (Dias e Pacheco, 2019).

Para avaliar a atrofia e contração do diafragma, é necessário avaliar a espessura do diafragma e a fração de espessamento, respectivamente. Um transdutor linear de alta frequência (7-13 MHz) é colocado sobre a zona de aposição, entre o oitavo e o nono espaço

intercostal, geralmente 0,5-2,0 cm abaixo do ângulo costofrênico, entre a linha axilar anterior e a linha axilar média (Figura B) (Boon et al., 2013; Carrillo-Esper et al., 2016). A uma profundidade de 1,5 a 3 cm, o diafragma é identificado como a camada muscular interna hipoecoica delimitada por duas membranas hiperecoicas (Figura C), a pleura (linha superficial) e o peritônio (linha mais profunda) (Boon et al., 2013; Ueki et al., 1995).

A Tdi é medida desde o centro da linha pleural até o centro da linha peritoneal, no fim da expiração (Tdi-exp) (Figura C) e, em seguida, no fim da inspiração (Tdi-insp), nos modos B e M (Figura D).

A FE é calculada da seguinte forma:  $FE = \frac{Tdi-insp - Tdi-exp}{Tdi-exp} \times 100$ .

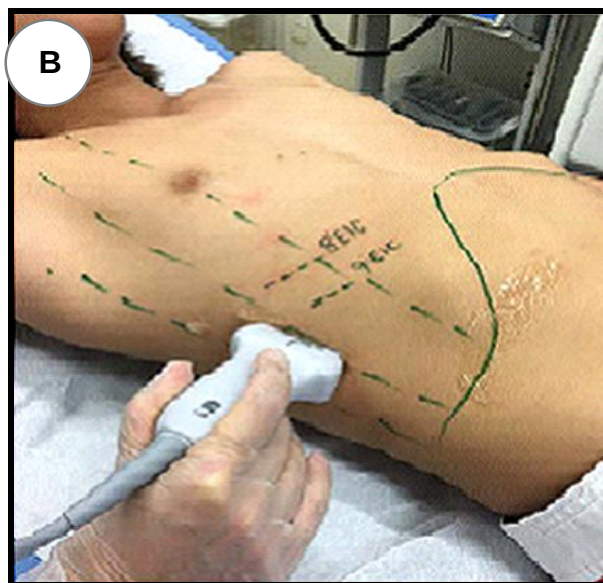


Figura B. Medição da espessura do hemidiafragma direito por meio da colocação do transdutor linear sobre a zona de aposição (ZA) no nono espaço intercostal, entre as linhas axilar anterior e axilar média.

Fonte: Santana et al. (2020b)

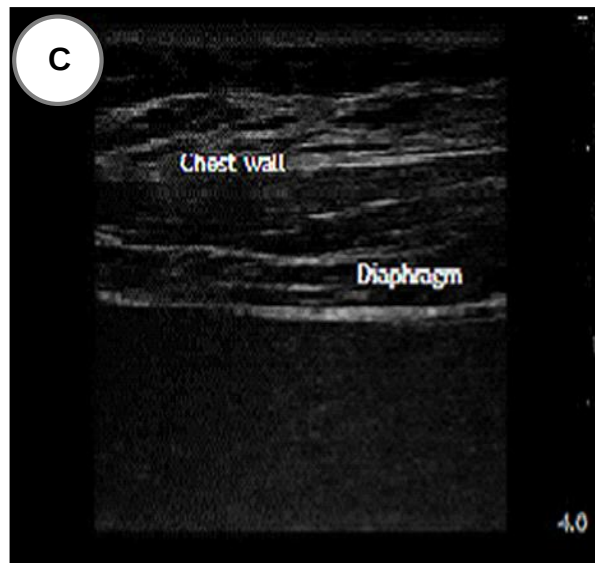


Figura C. Aspecto ultrassonográfico do hemidiafragma esquerdo na ZA entre o nono e o décimo espaço intercostal, durante a respiração tranquila, em capacidade residual funcional.

Fonte: Santana et al. (2020b)

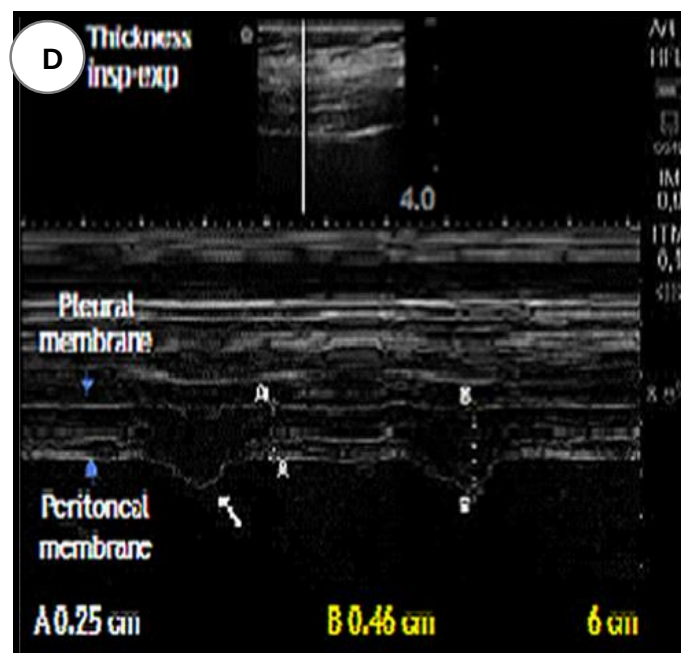


Figura D. Medição da espessura do diafragma: a parte superior da Figura mostra a ZA de um diafragma normal, no modo B; a parte inferior mostra, no modo M, a espessura do diafragma no fim da expiração (exp), ou distância A-A, e a espessura do diafragma no fim da inspiração (insp), ou distância B-B.

Fonte: Santana et al. (2020b)

O diagnóstico de disfunção diafragmática pode ser feito por meio da medição da fração de espessamento diafragmática com ultrassom. Um diafragma cronicamente paralisado é fino, atrófico e não se torna espesso durante a inspiração (Gottesman e McCool et al., 1997). No estudo de Cohn et al. (1997), realizado em nove sujeitos saudáveis, foram medidos a espessura do diafragma pelo ultrassom e o volume pulmonar pela espirometria. Esses autores observaram que a espessura do diafragma aumentou de acordo com o aumento da capacidade vital. Deste modo, o diafragma apresenta um papel importante para a realização de exercícios, podendo ser considerado como um preditor de melhor desempenho durante competições (Kilding et al., 2010; McConnell e Lomax, 2006; Romer et al., 2002).

A ultrassonografia diafragmática possui vantagens consideráveis sobre outras técnicas usadas para avaliar a função diafragmática, tais como o fato de que não ser invasiva e não empregar radiação ionizante, além de ser viável, reproduzível, repetível e financeiramente acessível. Além disso, há na literatura evidências convincentes sobre a utilidade da ultrassonografia na avaliação da função diafragmática em diversos contextos clínicos (Santana et al., 2020b).

A ultrassonografia é uma ferramenta que auxilia no diagnóstico da COVID-19, principalmente no rastreamento da progressão da doença no decorrer das fases de deterioração e recuperação (Musumeci et al., 2020), e além de ser de baixo custo, com procedimentos não invasivos, traz informações rápidas sobre diferentes órgãos e tecidos (Lippi et al., 2019).

É razoável supor que, em um futuro próximo, a ultrassonografia diafragmática foi amplamente usada não só por pneumologistas e intensivistas como também no diagnóstico e monitoramento de doenças e intervenções, tais como a reabilitação e indicação de treinamento muscular específico quando se trata de atletas.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Avaliar a associação entre a espessura diafragmática e o desempenho físico de atletas e os efeitos da infecção por COVID-19 sobre esses parâmetros.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar e comparar a ultrassonografia diafragmática de atletas infectados e não infectados por COVID-19.
- Comparar o desempenho físico entre atletas infectados e não infectados por COVID-19.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 - Desenho do estudo**

#### **4.1.1 Local e Período do Estudo**

De característica transversal e exploratório, este estudo está vinculado ao Projeto Medalha da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). A coleta de dados foi realizada na unidade VIII da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (FAED). Os direitos dos participantes desse trabalho foram respeitados de acordo com a resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde; sendo este já aprovado pelo Conselho de Ética em Pesquisa (CEP), da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (Nº. 2.409.248). O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) foi obrigatoriamente assinado pelo atleta e pesquisador.

## 4.1.2 Fluxograma do estudo

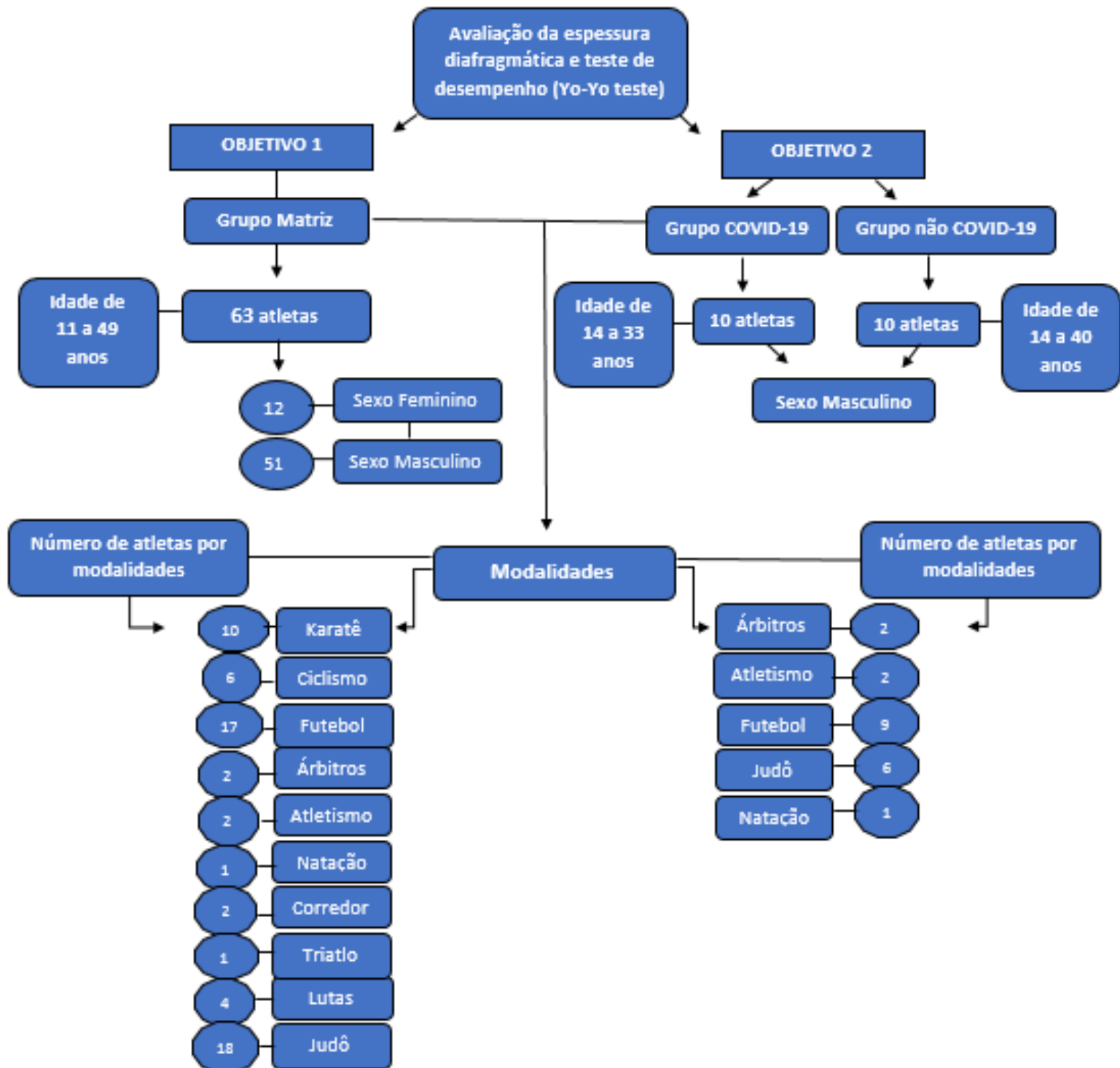


Figura E - Fluxograma do estudo em atletas dos grupos Matriz, COVID e não COVID-19.

#### 4.1.3 Amostra

Foram avaliados 63 participantes (com mais de um ano de experiência no esporte) competidores das modalidades de Karatê (n=10), Ciclismo (n=6), Futebol (n=17), Atletismo (n=2), Natação (n=1), Corrida (n=2), Triatlo (n=1), Lutas (n=4) e Judô (n=18), além de 2 árbitros de futebol, de ambos os sexos, com idade igual ou superior a 18 anos, todos filiados a federações esportivas do Mato Grosso do Sul. Para avaliação dos efeitos da COVID-19 sobre o desempenho físico e espessura diafragmática, foram selecionados 20 atletas, sendo 10 atletas infectados pela doença e 10 não infectados. Para cada infectado foi utilizado um controle, pareado por idade, sexo e modalidade esportiva. Os participantes foram selecionados de forma não probabilística e por conveniência.

#### 4.1.4 Critérios de Inclusão

Foram incluídos na pesquisa árbitros de futebol e atletas que treinavam sistematicamente em sua respectiva modalidade esportiva com intuito de melhorar o rendimento/resultados; haviam participado de competições esportivas no ano anterior à pandemia; estavam registrados em alguma federação esportiva local, regional ou internacional e tinham o treinamento e competições como principal atividade ou objetivo pessoal, dedicando várias horas de treino diário e semanal para essas atividades (excedendo o tempo dispendido para outras atividades profissionais ou de lazer).

Todos os atletas e árbitros infectados e não infectados pela COVID-19, confirmaram o diagnóstico por meio do teste rápido (Antígeno de SARS-CoV-2), realizado previamente antes das competições.

#### 4.1.5 Critérios de exclusão

Foram excluídos atletas que apresentaram sintomas gripais no momento da avaliação, e atletas lesionados, com impeditivos para a realização do teste de desempenho físico.

## 4.2 Instrumentos de Avaliação

### 4.2.1 Questionários e Entrevista

Os participantes responderam a um questionário on-line obtido no site <https://sys.projetomedalha.org>, previamente elaborado e testado por nosso grupo de pesquisa e dados de treinamento (tipo de modalidade, especialidade, frequência, intensidade e duração dos treinos, tempo de prática do esporte).

No segundo dia de avaliações, dessa vez de forma presencial, os participantes responderam ao questionário sobre a COVID-19 contendo perguntas sobre sintomas, internações, interrupção e retorno dos treinamentos. Após a entrevista, os participantes foram encaminhados para os testes antropométricos, avaliação da espessura diafragmática e, posteriormente, para o teste físico.

### 4.2.2 Avaliação da espessura diafragmática

Todos os participantes foram submetidos ao exame com Ultrassom do hemidiafragma direito utilizando o equipamento Ultrassom Dp10 Power Mindray. A avaliação do diafragma com ultrassom foi realizada com os atletas deitados em posição semi – recumbente (Boussuges et al., 2009; Testa et al., 2011; Souza et al., 2014). Para a avaliação da espessura diafragmática foi realizada a medida no modo B com transdutor linear de 6-13 MHz colocado sobre a zona de aposição do diafragma, próximo ao ângulo costofrênico entre a linha axilar anterior direita e a linha axilar média (Ueki et al., 1995), demonstrado na Figura F.

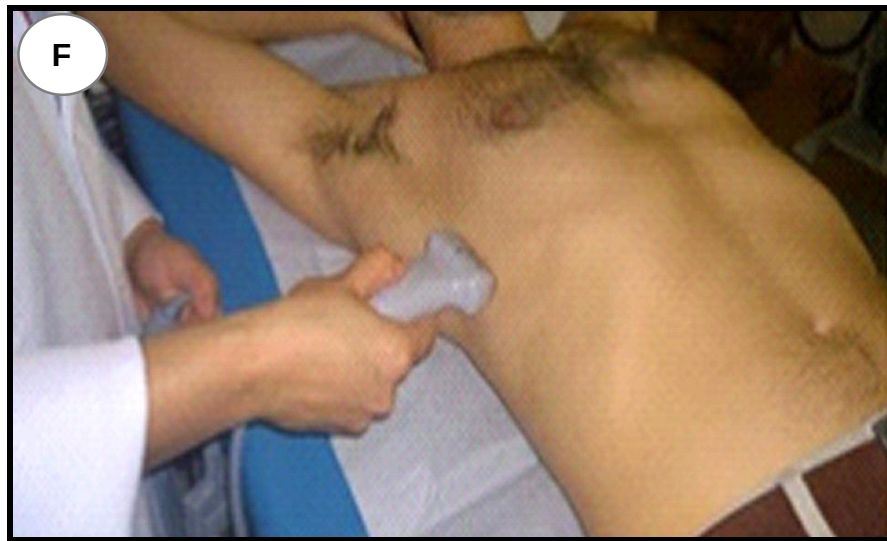


Figura F. Avaliação da espessura diafragmática.  
Fonte: Ueki et al. (1995)

A espessura do diafragma foi medida desde a linha hiperecoica mais superficial (linha pleural) até a linha hiperecoica mais profunda (linha peritoneal), e mensurada em capacidade residual funcional (CRF) e, em seguida, em capacidade pulmonar total (CPT). Foi utilizado e registrado o valor médio de três medidas consecutivas para cada uma delas, em seguida calculado a fração de espessamento (FE), espessamento proporcional do diafragma da CRF a CPT), definida pela seguinte equação:  $FE: [(E_{min} - E_{máx})/E_{min}] \times 100$ .

Em que:  $E_{min}$  é a espessura mínima do diafragma (medida em CRF) e  $E_{máx}$  é a espessura máxima do diafragma (medida em CPT) (Souza et al., 2014; El-Halaby et al., 2016; Souza et al., 2014; El-Halaby et al., 2016). Imagem demonstrada na Figura G.

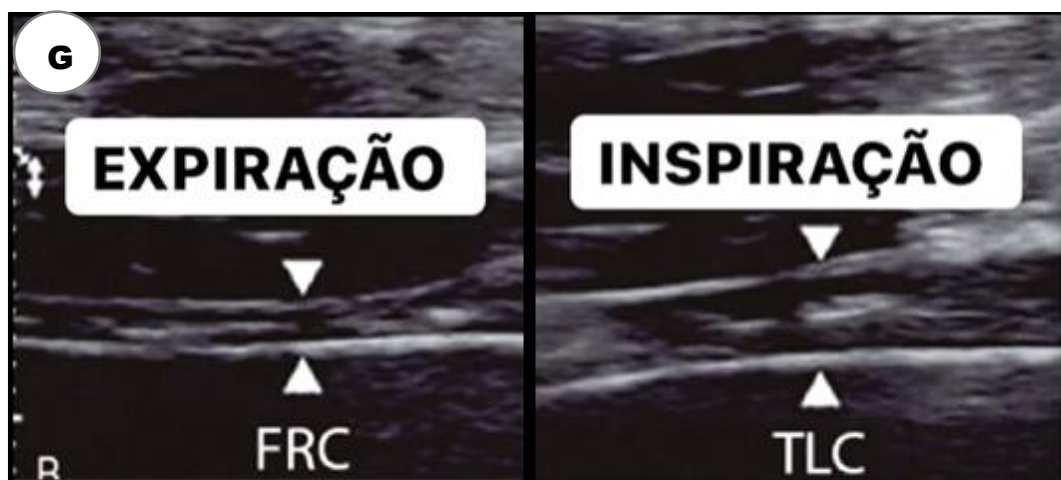


Figura G.  $E_{min}$  (espessura mínima do diafragma, medida em CRF) e  $E_{máx}$  (espessura máxima do diafragma, medida em CPT). Fonte: Souza et al. (2014); El-Halaby et al. (2016).

#### 4.2.3 Avaliação do desempenho físico

O Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 1 foi executado em um ritmo progressivo aumentado à medida de sinais sonoros que são utilizados para este teste. Os atletas foram instruídos a correr uma distância de 20m, ida e volta, e após esse vai-e-vem, percorreram os cinco metros para recuperação ativa de 10s, esperando na marca de saída para mais uma corrida. Assim, a cada sinal sonoro emitido pelo aparelho de som, os atletas deveriam ultrapassar com um dos pés a linha demarcada, por quantas voltas forem possíveis. O teste se encerrou no momento em que o atleta atingiu a exaustão ou não conseguiu manter a velocidade proposta pelo teste em duas voltas consecutivas. O número de deslocamentos realizados dentro do estímulo sonoro foi anotado.

Para estimar a potência aeróbia máxima foi utilizado o seguinte cálculo:  $[VO_{2max} (mL.min.kg) = distância (m) \times 0,0084 + 36,4]$  (Bangsbo et al., 2008).

Foi utilizada a Tabela de Magalhães et al. (2021), que apresenta os valores de referência para o  $VO_{2max}$ , onde valores  $< 35 mL/kg/min$  foi considerado ruim; e valores  $> 35 mL/kg/min$  foram considerados bons).

#### 4.2.4 Análise estatística

Os resultados estão expressos em média e desvio padrão. A correlação de Pearson foi utilizada para verificar a associação entre as variáveis de performance ( $VO_{2max}$ ) com a espessura diafragmática. Adicionalmente, o teste t de Student foi aplicado para verificar diferenças entre atletas com diagnóstico positivo e negativo para SARS-CoV-2. O nível de significância foi ajustado em 5%. O software Prisma v8 (GraphPad, California, USA) foi utilizado para todas as análises.

## 5 RESULTADOS

As características das amostras coletadas dos atletas/árbitros do grupo matriz estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios e correspondentes desvios padrão das variáveis respiratórias e antropométricas dos atletas/árbitros do grupo matriz.

| Grupo Matriz (n= 63) |              | Variáveis   |              |                                |                             |
|----------------------|--------------|-------------|--------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Sexo                 | Idade (anos) | Peso (kg)   | Altura (cm)  | VO <sub>2max</sub> (mL.kg.min) | Espessura Diafragmática (%) |
|                      | Média± DP    | Média±DP    | Média±DP     | Média±DP                       | Média±DP                    |
| Feminino (n= 12)     | 16,67±5,03   | 52,09±14,01 | 155,90±13,86 | 39,34±1,74                     | 61,00±0,20                  |
| Masculino (n= 51)    | 23,44±9,65   | 72,24±14,18 | 174,84±6,84  | 41,25±6,84                     | 55,00±0,25                  |

DP, desvio padrão.

De acordo com os dados mostrados na Tabela 1, as médias de VO<sub>2max</sub> tanto para o sexo feminino, quanto para o sexo masculino, foram superiores a 35 mL/kg/min, e portanto consideradas “boas” em relação aos padrões para a população nas diferentes modalidades esportivas.

A Figura H apresenta a associação entre a espessura diafragmática (%) e o VO<sub>2max</sub> medidos nos atletas/árbitros do grupo Matriz. Os dados apresentados na Figura H mostram que não há associação entre a espessura diafragmática e o desempenho físico aeróbio dos atletas/árbitros (p=0.22).

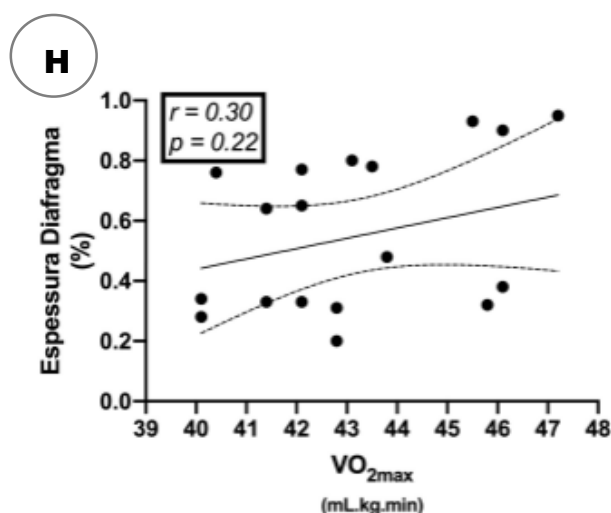


Figura H. Espessura diafragmática versus teste de desempenho físico ( $VO_{2max}$ ) em atletas/árbitros do grupo Matriz (n= 63), realizado pelo Yo-Yo teste.

As características das amostras coletadas dos atletas/árbitros do grupo COVID e não COVID-19 estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios e correspondentes desvios padrão das variáveis respiratórias e antropométricas dos atletas/árbitros do grupo COVID e não COVID-19.

| Sexo Masculino (n= 20) |              | Variáveis  |             |                         |                             |
|------------------------|--------------|------------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| GRUPOS                 | Idade (anos) | Peso (kg)  | Altura (cm) | $VO_{2max}$ (mL.kg.min) | Espessura Diafragmática (%) |
|                        | Média DP     | Média DP   | Média DP    | Média DP                | Média DP                    |
| COVID-19 (n= 10)       | 25,30±10,39  | 68,03±8,20 | 171,90±4,04 | 38,34±13,61             | 52,00±0,25                  |
| NÃO COVID-19 (n= 10)   | 22,09±7,29   | 71,09±8,30 | 178,42±2,11 | 43,88±2,29              | 57,00±0,26                  |

DP, desvio padrão.

Conforme os dados da Tabela 2, o grupo COVID e não COVID-19, apresentaram médias superiores a 35 mL/kg/min na variável  $VO_{2max}$  para atletas/árbitros infectados e não infectados pela COVID-19, ou seja, considerados bons em relação à população geral.

Os resultados da Tabela 2, mostram que não houve diferença na média da espessura diafragmática entre os grupos COVID e não COVID-19.

A Figura I apresenta a comparação da espessura diafragmática entre os atletas/árbitros dos grupos não infectados ( $n=10$ ) e infectados pela COVID-19 ( $n=10$ ). Não houve diferença significativa para a espessura diafragmática entre os grupos ( $p=0.22$ ).

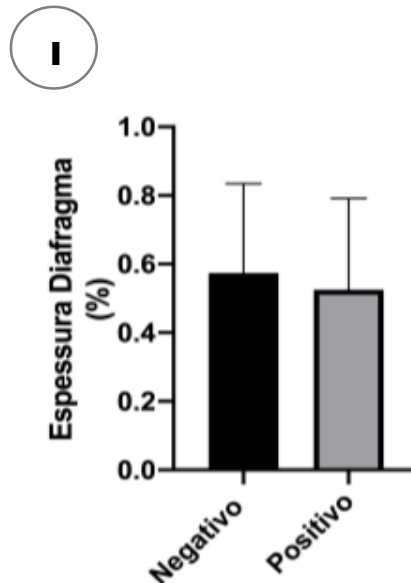


Figura I. Avaliação da espessura diafragmática em atletas/árbitros dos grupos não infectados (negativo;  $n=10$ ) e infectados pela COVID-19 (positivo,  $n=10$ ).

A Figura J apresenta a medida do  $VO_{2max}$  entre os atletas/árbitros do grupo não infectados ( $n=10$ ) e infectados pela COVID-19 ( $n=10$ ). Os resultados mostrados na Figura J apontam para ausência de diferença estatisticamente significativa para o desempenho físico entre atletas/árbitros não infectados e infectados pela COVID-19 ( $p=0.22$ ).

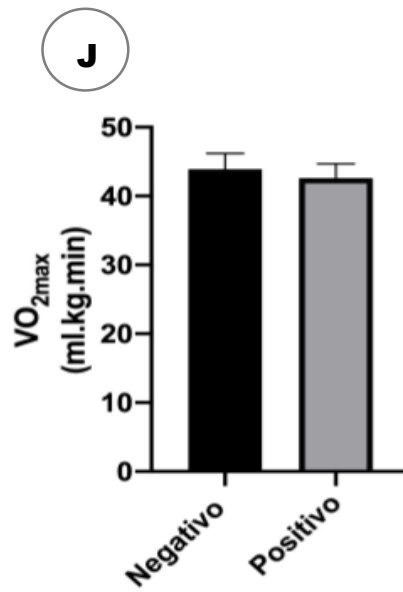


Figura J. Avaliação do desempenho físico (VO<sub>2max</sub>) em atletas do grupo não infectados (negativo; n= 10), e infectados pela COVID-19, (positivo; n= 10), realizado pelo Yo-Yo teste.

## 6 DISCUSSÃO

Esse é o primeiro estudo que se propôs a avaliar a associação entre a espessura diafragmática e o desempenho físico de atletas. Também buscamos analisar os efeitos da infecção por COVID-19 sobre esses parâmetros. Nossos resultados revelam que a espessura não apresentou associação com o consumo máximo de oxigênio dos atletas. Adicionalmente os atletas infectados por COVID-19 não apresentaram diferenças no  $VO_{2max}$  e espessura diafragmática comparados aos não infectados.

Até onde sabemos, poucos estudos investigaram a relação entre espessura diafragmática e o desempenho físico/funcional ou tolerância ao esforço, e os que fizeram, adotaram pacientes e contextos clínicos (Pinet et al., 2003; Paulin et al., 2007; e Hiwatani et al., 2013). Nestes contextos, estudos apontam que em indivíduos portadores de doenças respiratórias como DPOC (Paulin, et al., 2007; Yamaguti, et al., 2008), fibrose pulmonar, (Enright et al., 2007), doenças neuromusculares (Pinto et al., 2016) e COVID-19 (Andrade et al., 2022), a espessura diafragmática torna-se um risco para a piora nos prognósticos clínicos. Nesses casos, a ultrassonografia diafragmática pode de uma forma eficaz de avaliar a função dos músculos respiratórios, assim como adequar-se como referência no acompanhamento de programas de reabilitação pulmonar (Crimi et al., 2018; Santana et al., 2016; Enright et al., 2007; Oliveira et. al., 2020).

Contudo, a extrapolação desses dados para atletas é complexa, visto que este público apresenta alta tolerância ao esforço, e em geral, exibe bom estado nutricional, anti-inflamatório e antioxidante (American Dietetic Association, 2000). Verifica-se assim que a menor espessura diafragmática corresponde a uma disfunção muscular intrínseca causadas por vários fatores (estresse inflamatório e oxidativo, sedentarismo e desnutrição) os quais estão comumente presentes nas doenças, mas não são comumente encontrados em atletas. Esse fato explicaria, ao menos em parte, a falta de associação entre espessura diafragmática e desempenho aeróbio nos atletas do nosso estudo.

É esperado que quanto melhor a função diafragmática, maior seja a espessura e o  $VO_{2max}$ , uma vez que o aumento da área de secção transversa do músculo pode refletir em ganhos em vascularização, fluxo sanguíneo e número de mitocôndrias, e, conseqüentemente, maior eficiência muscular inspiratória, sendo capaz de impactar no desempenho físico/funcional. Portanto, esperava-se neste estudo observar a relação entre esses parâmetros. Contudo, a falta de associação entre  $VO_{2max}$  e espessura diafragmática

pode ser especulativamente explicada pela razão de que a função diafragmática não necessariamente esteja relacionada à sua espessura, ou seja, os atletas são capazes de serem altamente eficientes na musculatura do diafragma sem necessariamente possuírem maior espessura desse músculo, como um maratonista por exemplo, que não apresenta grande massa muscular, mas tem músculos altamente eficientes aerobiamente.

O exercício aeróbio proporciona adaptações bioquímicas e estruturais da célula muscular como ganhos em número e tamanho das mitocôndrias, aumento na atividade enzimática oxidativa e maior deposição de substratos lipídicos intramusculares (Starrit et al., 1999; Powers e Howley, 2000). Essas adaptações também são capazes de ocorrerem no diafragma, uma vez que este é composto por aproximadamente 60% de fibras Tipo I. Dessa maneira, supomos que os atletas de nosso estudo conseguem ser altamente eficientes na musculatura do diafragma sem necessariamente terem maior espessura muscular nesse músculo.

Cabe apontar também que o consumo máximo de oxigênio é um fator que pode ser influenciado por diversas causas, abrangendo a tendência hereditária (genética), estado de treinamento, gênero, composição corporal, idade e modalidade do exercício, haja visto, que os exercícios aeróbios promovem maiores ganhos em  $VO_{2max}$ , (Antenora et al., 2017; Hiwatani et al., 2013; Fayssoil et al., 2019). Provavelmente esses parâmetros sejam mais determinantes do que a espessura diafragmática nos valores de consumo de oxigênio, especialmente de indivíduos saudáveis. Especulamos assim que a avaliação da espessura diafragmática possivelmente seja mais importante nos pacientes (Antenora et al., 2017; Hiwatani et al., 2013; Fayssoil et al., 2019) do que nos atletas uma vez que os atletas em geral gozam de boa saúde a alto condicionamento físico. Provavelmente por esse motivo não tenham sido observadas associações significantes em nosso estudo.

Em relação ao segundo objetivo do estudo, ou seja, de avaliar e comparar a espessura diafragmática e o desempenho físico de atletas infectados e não infectados por COVID-19, nossos resultados apontam para ausência de diferenças entre os grupos. Cabe mencionar que estados infecciosos, incluindo os virais, desencadeiam uma cascata de mediadores inflamatórios e acometimento do parênquima pulmonar, capazes de resultar em redução da troca gasosa, disfunção mitocondrial e danos musculares no aparato respiratório. Quadros infecciosos provocam danos no sistema respiratório, com consequente resposta sistêmica aguda, ocasionando redução da oxigenação (hipóxia, baixa relação entre  $PaO_2/FiO_2$ ) e dispneia. Estas mudanças no padrão funcional dos

pulmões envolvem diretamente a função dos músculos respiratórios, que dão início a intolerância ao exercício físico (Li, 2020).

Assim, é de se esperar que indivíduos afetados pela doença apresentem redução no desempenho físico, incluindo o  $VO_{2max}$  (Oxley et al., 2020; Wu et al., 2020). Entretanto, em nosso estudo não observamos efeitos da infecção por COVID-19 no consumo de oxigênio e na espessura diafragmática dos atletas. Uma das hipóteses para a ausência de diferença está relacionada ao tempo entre a contaminação pela doença e a realização do teste. Observa-se no presente estudo que esse tempo foi de aproximadamente 1 ano, e provavelmente tenha sido suficiente para que os atletas já estivessem plenamente recuperados.

A recuperação da COVID-19 varia muito entre indivíduos e pode levar de dias a semanas, mas já é sabido que atletas apresentam melhor estado imunológico comparados aos indivíduos fisicamente inativos. Além disso, uma vez infectados pela COVID-19, atletas apresentam menor chance evoluir para quadros moderados e graves da doença (Gualano et al., 2021). Vale mencionar que em nosso estudo estudos não houve casos graves de Covid-19 nos atletas que foram infectados. Este fato apoia a ideia de que esta população esteja menos suscetível a evoluir para a forma grave da doença, o que pode resultar em poucas alterações respiratórias e possivelmente recuperação mais rápida.

A escassez de estudos nessa área limita a interpretação dos nossos dados e muitas explicações se apoiam em especulações. Embora a ultrassonografia do diafragma tenha sido amplamente utilizada e com sucesso para identificar a disfunção diafragmática e até indicar possíveis processos de reabilitação (Caleffi-Pereira et al., 2018; Gottesman e McCool, 1997; Santana, et al.; 2020), a aplicação desta técnica no esporte ainda é desconhecida. Tornam-se necessários portanto, mais estudos relacionados a este assunto, para identificar se a espessura diafragmática se associa com o desempenho, especialmente em modalidades aeróbias, assim como se os impactos da COVID-19 se relacionam com a espessura diafragmática tanto em populações clínicas quanto nos atletas.

O presente estudo apresenta como limitações, o fato de ser de caráter observacional, o que não possibilita causa-efeito. O baixo número de indivíduos também pode ter limitado a análise dos dados e os possíveis ajustes por sexo e idade, já que sabemos que esses fatores estão relacionados à espessura diafragmática e/ou desempenho físico. O fato de ter realizado o estudo com atletas de diversas modalidades

pode ter interferido nos resultados, tornando nossa amostra muito heterogênea. Assim, são necessários estudos com amostras maiores nesta população tão particular.

## 7 CONCLUSÃO

A ultrassonografia diafragmática possui vantagens consideráveis sobre outras técnicas usadas para avaliar a função diafragmática, porém neste estudo envolvendo atletas a espessura diafragmática não foi associada ao consumo máximo de oxigênio, além disso, atletas infectados por COVID-19 também não exibiram diferenças no  $VO_{2max}$  e espessura diafragmática, em relação aos atletas não infectados.

## REFERÊNCIAS

- Adamopoulos, S.; Schmid, J. P.; Dendale, P.; Poerschke, D.; Hansen, D.; Dritsas, A.; Kouloubinis, A.; Alders, T.; Gkouziouta, A.; Reyckers, I.; Vartela, V.; Plessas, N.; Doulaptsis, C.; Saner, H.; Laoutaris, I. D. Treinamento muscular aeróbico/inspiratório combinado versus treinamento aeróbico em pacientes com insuficiência cardíaca crônica: o estudo Vent-HeFT: um estudo prospectivo multicêntrico randomizado europeu. **European Journal of Heart Failure**, v.16, n.5, p.574-82, 2014. <https://doi.org/10.1002/ejhf.70>
- Alerhand, S.; Graumann, O.; Nelson, B. Physics and basic principles. In: Laursen, C. B.; Rahman, N. M.; Volpicelli, G. editors. Thoracic Ultrasound (ERS Monograph). Sheffield: European Respiratory Society, p.1-13, 2018. <https://doi.org/10.1183/2312508X.10006017>
- Amann, M.; Romer, L. M.; Pegelow, D. F.; Jacques, A. J.; Hess, C. J.; Dempsey, J. A. Effects of arterial oxygen content on peripheral locomotor muscle fatigue. **Journal of Applied Physiology**, v.101, n.1, p.119-127, 2006. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01596.2005>
- American Dietetic Association, Dietitians of Canada, American College of Sports Medicine. Position of American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and American College of Sports Medicine: nutrition and athletic performance. **Journal of the American Dietetic Association**, v.100, n.12, p.1543-56, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(00\)00428-4](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(00)00428-4)
- American Thoracic Society. Dispnea - mechanism, assessment and management a consensus statement. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v.159, p.321-340, 1999. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.159.1.ats898>
- Amonette, W.; Dupler, T. The effects of respiratory muscle training on VO<sub>2</sub> max, the ventilatory threshold and pulmonary function. **Journal of Exercise Physiology**, v.5, n.2, p.29-35, 2002.
- Andrade, P. H. M.; Comin, T. F. B.; Lima, R. B. H.; Andrade, G. M. I. M.; Castro, M. R. L.; Santos, T. C. Aspectos morfofuncionais diafragmáticos e função pulmonar em pacientes pós covid-19 que foram submetidos a VMI. **Conjecturas**, v.22, n.1, p.1699–1716, 2022. <https://doi.org/10.53660/CONJ-616-517>
- Anraku, M.; Shargall, Y. Surgical Conditions of the Diaphragm: Anatomy and Physiology. **Thoracic Surgery Clinics**, v.19, n.4, p.419–429, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.thorsurg.2009.08.002>
- Antenora, F.; Fantini, R.; Iattoni, A.; Castaniere, I.; Sdanganelli, A.; Livrieri, F.; Tonelli, R.; Zona, S.; Monelli, M.; Clini, E. M.; Marchioni, A. Prevalence and outcomes of diaphragmatic dysfunction assessed by ultrasound technology during acute exacerbation of COPD: A pilot study. **Respirology**, v.22, n.2, p.338-344, 2017. <https://doi.org/10.1111/resp.12916>

Archiza, B. Caracterização temporal da fadiga diafragmática e dos efeitos do treinamento muscular inspiratório durante o exercício de alta intensidade em adultos saudáveis. Universidade Federal de São Carlos, 2018, 127p. Tese de Doutorado.

Azeredo, C. A. C. Fisioterapia respiratória moderna. 4. ed. São Paulo: Manole, 2002.

Babapoor-Farrokhran, S.; Gill, D.; Walker, J.; Rasekhi, R. T.; Bozorgnia, B.; Amanullah. A. Lesão miocárdica e COVID-19: Possíveis mecanismos. **Ciência da Vida**, v.253, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2020.117723>

Bangsbo, J.; Iaia, F. M.; Krstrup, P. The Yo-Yo intermittent recovery test: a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. **Sports Medicine**, v.38, n.01, p.37-51, 2008. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838010-00004>

Baria, M. R.; Shahgholi, L.; Sorenson, E. J.; Harper, C.J.; Lim, K. G.; Strommen, J. A.; Mottram, C. D.; Boon, A. J. B-mode ultrasound assessment of diaphragm structure and function in patients with COPD. **Journal Chest**, v.146, n.3, p.680-5, 2014. <http://dx.doi.org/10.1378/chest.13-2306>

Berne, R. M.; Levy, M. N. Fisiologia. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2000.

Boccatonda, A.; Decorato, V.; Cocco, G.; Marinari, S.; Schiavone, C. Ultrasound evaluation of diaphragmatic mobility in patients with idiopathic lung fibrosis: a pilot study. **Multidisciplinary Respiratory Medicine**, v.14, n.1, 2019. <https://doi.org/10.1186/s40248-018-0159-y>

Boon, A. J.; Harper, C. J.; Ghahfarokhi, L. S.; Strommen, J. A.; Watson, J. C.; Sorenson, E. J. Two-dimensional ultrasound imaging of the diaphragm: quantitative values in normal subjects. **Muscle Nerve**, v.47, n.6, p.884-889, 2013. <https://doi.org/10.1002/mus.23702>

Boussuges, A.; Gole, Y.; Blanc, P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. **Journal Chest**, v.135, n.2, p.391-400, 2009. <https://doi.org/10.1378/chest.08-1541>

Bucci, M.; Vinagre, E.C.; Campos, G.E.R.; Curi, R.; Pithon-Curi, T.C. Efeitos do treinamento concomitante hipertrofia e endurance no músculo esquelético. **Revista brasileira Ciência e Movimento**, v.13, n.1, p. 17-28, 2005. [doi.org/10.18511/rbcm.v13i1.608](https://doi.org/10.18511/rbcm.v13i1.608)

Buonsenso, D.; Pata, D.; Chiaretti, A. COVID-19 outbreak: less stethoscope, more ultrasound. **Lancet Respiratory Medicine**, v.8, n.5, e27, 2020. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30120-](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30120-)

Caleffi-Pereira, M.; Pletsch-Assunção, R.; Cardenas, L. Z.; Santana, P. V.; Ferreira, J. G.; Iamonti, V. C.; Caruso, P.; Fernández, A.; Carvalho, C. R.; Albuquerque, A. L. P. Unilateral diaphragm paralysis: a dysfunction restricted not just to one hemidiaphragm. **BMC Pulmonary Medicine**, v.18, n.1, p. 1262018. <https://doi.org/10.1186/s12890-018-0698-1>

Carrillo-Esper, R.; Pérez-Calatayud, Á. A.; Arch-Tirado, E.; Díaz-Carrillo, M. A.; Garrido-Aguirre, E.; Tapia-Velazco, R.; Peña-Pérez, C. A.; Los Monteros, I. E. de.; Meza-Márquez, J. M.; Flores-Rivera, O. I.; Zepeda-Mendoza, A. D.; La Torre-León, T. de. Standardization of Sonographic Diaphragm Thickness Evaluations in Healthy Volunteers. **Respiratory Care**, v.61, n.7, p.920-924, 2016. <https://doi.org/10.4187/respcare.03999>

Caruso, P.; Albuquerque, A. L.; Santana, P. V.; Cardenas, L. Z.; Ferreira, J. G.; Prina, E.; Trevizan, P. F.; Pereira, M.; C.; Iamonti, V.; Pletsch, R.; Macchione, M. C.; Carvalho, C. R. R. Diagnostic methods to assess inspiratory and expiratory muscle strength. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v.41, n.2, p.110-23, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-37132015000004474>

Cipollaro, L.; Giordano, L.; Padulo, J.; Oliva, F.; Maffulli, N. Musculoskeletal symptoms in SARS-CoV-2 (COVID-19) patients. **Journal of Orthopaedic Surgery and Research**. v.15, n.1, p.178, 2020. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01702-w>

Cohn, D.; Benditt, J. O.; Eveloff, S.; McCool, F. D. Diaphragm thickening during inspiration. **Journal of Applied Physiology**, v.83, n.1, p.291-296, 1997. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.83.1.291>

Crimi, C.; Heffler, E.; Augelletti, T.; Campisi, R.; Noto, A.; Vancheri, C.; Crimi, N. Utility of ultrasound assessment of diaphragmatic function before and after pulmonary rehabilitation in COPD patients. **International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease**, v.13, p.3131-9, 2018. <https://doi.org/10.2147/COPD.S171134>

Croda, J. H. R.; Garcia, L. P. Resposta imediata da Vigilância em Saúde à epidemia da COVID-19. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v.29, n.1, 2020. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742020000100021>

Cui, S.; Chen, S.; Li, X.; Liu, S.; Wang, F. Prevalence of venous thromboembolism in patients with severe novel coronavirus pneumonia. **Journal of Thrombosis and Haemostasis**, v.18, n.6, p.1421-1424, 2020. <https://doi.org/10.1111/jth.14830>

Dempsey, J. A.; Amann, M.; Romer, L. M.; Miller, J. D. Respiratory system determinants of peripheral fatigue and endurance performance. **Medicine Science Sports Exercise**, v.40, n.3, p.457-461, 2008. <https://doi.org/10.1249 / MSS.0b013e31815f8957>

Dempsey, J. A.; Romer, L.; Rodman, J.; Miller, J.; Smith, C. Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. **Respiratory Physiology e Neurobiology**, v.151, n.2-3, p.242-250, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resp.2005.12.015>

Dias, A. S. SA, Pacheco, E. C. Ultrassonografia aplicada ao sistema respiratório: músculos e parênquima pulmonar. IN: Associação Brasileira de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva. Martins JA, Reis LFF, Andrade FMD, organizadores. PROFISIO. Programa de Atualização em Terapia Intensiva Adulto. Ciclo 10. Porto Alegre: Artmed Panamericanas, p.11-32, 2019.

Dorn, A. V.; Cooney, R. E.; Sabin, M. L. COVID-19 exacerbating inequalities in the US. **Lancet**, v.395 (10232), p.1243–1244, 2020. Available from: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30893-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30893-X)

Dove, J.; Gage, A.; Kriz, P.; Tabaddor, Ramin, R.; Owens, Brett, D. Covid-19 and review of Current Recommendations for Return to Athletic Play. **Rhode Island Medical Journal**, v.103, n.7, p.15-20. 2020.

Dufresne, V.; Knoop, C.; Van Muylem, A.; Malfroot, A.; Lamotte, M.; Opdekamp, C.; Deboeck, G.; Cassart, M.; Stallenberg, B.; Casimir, G.; Duchateau, J.; Estenne, M. Effect of systemic inflammation on inspiratory and limb muscle strength and bulk in cystic fibrosis. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**., v.180, n.2, p.153-158, 2009. <https://doi.org/10.1164/rccm.200802-232OC>

El-Halaby, H.; Abdel-Hady, H.; Alsawah, G.; Abdelrahman, A.; Eltahan, H. Sonographic Evaluation of Diaphragmatic Excursion and Thickness in Healthy Infants and Children. **Journal of Ultrasound in Medicine**, v.35, n.1, p.167–175, 2016. <https://doi.org/10.7863/ultra.15.01082>

Elliott, N.; Martin, R.; Heron, N.; Elliott, J.; Grimstead, D.; Biswas, A. Infographic. Graduated return to play guidance following COVID-19 infection. *British Journal of Sports Medicine*, v.54, p.1174-1175, 2020. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102637>

Enright, S.; Chatham, K.; Ionescu, A. A.; Unnithan, V. B.; Shale, D. J. The influence of body composition on respiratory muscle, lung function and diaphragm thickness in adults with cystic fibrosis. **Journal of Cystic Fibrosis**, v.6, n.6, p.384-390, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jcf.2007.02.006>

Fayssoil, A.; Nguyen, L. S.; Ogn, A.; Stojkovic, T.; Meng, P.; Mompoin, D.; Carlier, R.; Prigent, H.; Clair, B.; Behin, A.; Laforet, P.; Bassez, G.; Crenn, P.; Orlikowski, D.; Annane, D.; Eymard, B.; Lofaso, F. Diaphragm sniff ultrasound: Normal values, relationship with sniff nasal pressure and accuracy for predicting respiratory involvement in patients with neuromuscular disorders. **Plos One**, v.14, n.4, p.e0214288, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214288>

Gameiro, N. COVID-19: Ponto a ponto sobre o novo coronavírus. Fiocruz. Brasília, 2020. Disponível em< <https://www.fiocruzbrasil.br/covid-19-ponto-a-ponto-do-novo-coronavirus/>>.

Gattinoni, L.; Chiumello, D.; Caironi, P.; Busana, M.; Romitti, F.; Brazzi, L.; Camporota, L. Pneumonia por COVID-19: diferentes tratamentos respiratórios para diferentes fenótipos? **Medicina Intensiva**, v.46, n. 6, p.1099-1102, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06033-2>

Gottesman, E.; McCool, F. D. Ultrasound evaluation of the paralyzed diaphragm. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v.155, n.5, p.1570-1574, 1997. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.155.5.9154859>

Gualano, B.; Brito, G. M.; Pinto, A. J.; Lemes, M. R.; Matos, L. D. N. J.; Pinto, A. L. S.; Loturco, I.; Sport Covid-19, C. High SARS-CoV-2 infection rate after resuming professional football in São Paulo, Brazil. **British Journal of Sports Medicine**, Epub ahead of print: [please include Day Month Year], 2021. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-104431>

Guimarães, R. A carga da COVID – 19 e o Presidente da República. **Abrasco - Associação Brasileira de Saúde Coletiva**, 2020.

Guyton, Arthur, C. O Sistema Nervoso Autônomo e a Medular da Adrenal. In: Guyton, Arthur, C.; HALL, John, E. Tratado de Fisiologia Médica: O Sistema Nervoso: Neurofisiologia Motora e Integrativa. 12. ed. Jackson: Elsevier, Cap. 60, São Paulo, 2019.

Harms, C. A.; Wetter, T. J.; Croix, C. M. St.; Pegelow, D. F.; Dempsey, J. A. Effects of respiratory muscle work on exercise performance. **Journal of Applied Physiology**, v.89, n.1, p.131-138, 2000. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.1.131>

Hiwatani, Y.; Sakata, M.; Miwa, H. Ultrasonography of the diaphragm in amyotrophic lateral sclerosis: clinical significance in assessment of respiratory functions. **Amyotroph Lateral Scler Frontotemporal Degener**, v.14, n.2, p.127-131, 2013. <https://doi.org/10.3109/17482968.2012.729595>

Huang, C.; Huang, L.; Wang, Y.; Li, X.; Ren, L.; Gu, X.; Kang, L.; Guo, L.; Liu, M.; Zhou, Luo, J.; Huang, Z.; Tu, S.; Zhao, Y.; Chen, L.; Xu, D.; Li, Y.; Li, C.; Peng, L.; Li, Y.; Xie, W.; Cui, D.; Shang, L.; Fan, G.; Xu, J.; Wang, G.; Wang, Y.; Zhong, J.; Wang, C.; Wang†, J.; Zhang†, D.; Cao†, B. 6-month consequences of COVID-19 in patients discharged from hospital: a cohort study. **Lancet**, v.397, p.220–32, 2021. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32656-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32656-8)

Illi, S. K.; Held, U.; Frank, I.; Spengler, C. M. Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, v.42, n.8, p.707-724, 2012. <https://doi.org/10.1007 / BF03262290>

Inciardi, R. M.; Laura Lupi, M. D.; Gregorio Zaccone, M. D.; Leonardo Italia, M. D.; Michela Raffo, M. D.; Daniela Tomasoni, M. D.; Dario S. Cani, M. D.; Manuel Cerini, M. D.; Davide Farina, M. D.; Emanuele Gavazzi, M. D.; Roberto Maroldi, M. D.; Marianna Adamo, M. D.; Enrico Ammirati, M. D. PhD; Gianfranco Sinagra, M. D.; Carlo M. Lombardi, M. D.; Marco Metra, M. D. Cardiac Involvement in a Patient With Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). **JAMA Cardiology**, V.5, n.7, p.819-824, 2020. doi:10.1001/jamacardio.2020.1096

Jain, U. Effect of COVID-19 on the organs. **Cureus**. v.12, n.8, p.e9540, 2020. <https://doi.org/10.7759/cureus.9540>

Jewson, J.; McNamara, A.; Fitzpatrick, J. Life after COVID-19. The importance of a safe return to physical activity. **Australian general practice**, v.49, 2020. <https://doi:10.31128/AJGP- -COVID-40>.

Kilding, A. E.; Brown, S.; McConnell, A. K. Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. **Journal of Applied Physiology**, v.108, n.3, p.505-511, 2010. <https://doi.org/10.1007 / s00421-009-1228-x>

Kocjan, J.; Mariusz, A.; Bożena, G-Z.; Damian, C.; Mateusz, R. Network of breathing. Multifunctional role of the diaphragm: a review. **Advances in Respiratory Medicine**, [s. l.], v. 85, n.4, p.224–232, 2017. <https://doi.org/10.5603/ARM.2017.0037>

Li, J. Manejo da reabilitação de pacientes com COVID-19: lições aprendidas com a primeira experiência na China. **Jornal europeu de medicina física e de reabilitação**, v.56, n.3, pág.335-338, 2020. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.20.06292-9>

Lippi, I. S.; Mendes, J. T.; Orsini, M.; Costa, C. A.; Tavares, S. G.; Trajano, E. T. L.; Almeida, R. G.; Xavier, T. B. C.; Sant’ Anna Jr, M.; Bastos, V. H.; Teixeira, S.; Camilo, L. M. Ultrassonografia diafragmática como ferramenta de avaliação no desmame da ventilação mecânica. **Fisioterapia Brasil**, v.20, n.4, p.570-577, 2019. <https://doi.org/10.33233/fb.v20i4.3221>

Magalhães, M. W. B.; Lima, Ângela. L. S.; Lima, A. L.; Costa, E. K. O.; Castro, J. M.; Silva, L. C.; Alves, W. S. Estudo comparativo do volume de oxigênio máximo entre diferentes modalidades esportivas. **Research, Society and Development**, v.10, n.11, e231101118501, 2021.

McConnell, A. K.; Lomax, M. The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. **Journal of Physiology**, v. 577, n.1, p.445-457. 2006. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.117614>

McKinney, J.; Connelly, K. A.; Dorian, P.; Fournier, A.; Goodman, J. M.; Grubic, N.; Isserow, S.; Moulson, N.; Philippon, F.; Pipe, A.; Poirier, P.; Taylor, T.; Thornton, J.; Wilkinson, M., Johri, A. M. COVID-19- Myocarditis and return to play: Reflections and recommendations from a canadian working group. **Journal of the Canadian Cardiovascular**, v.37, n.8, p.1165–1174, 2021. <https://doi:10.1016/j.cjca.2020.11.007>

Moura, D. L.; Dias, A.; Farinha, P. M.; Farinha, J. M.; Cordeiro, C. R. Sequelas da COVID-19. Evidência Atual. **Revista Medicina Desportiva informa**, v.12, n.3 p.8-11, 2021. [https://doi.org/10.23911/COVID-19\\_sequelas\\_2021\\_mai](https://doi.org/10.23911/COVID-19_sequelas_2021_mai).

Musumeci, M. M.; Nogueira, I. C.; Alcanfor, T. A. F.; Martinez, B. P. Recursos fisioterapêuticos utilizados em unidades de terapia intensiva para avaliação e tratamento das disfunções respiratórias de pacientes com COVID-19. Comunicação oficial – Assobrafir, 2020. [https://assobrafir.com.br/wp-content/uploads/2020/06/ASSOBRAFIR\\_COVID\\_19\\_RECursos\\_EM\\_UTI\\_2020.05.30.pdf](https://assobrafir.com.br/wp-content/uploads/2020/06/ASSOBRAFIR_COVID_19_RECursos_EM_UTI_2020.05.30.pdf)

Nahas, M. V. Atividade física, saúde e qualidade de vida: Conceitos e Sugestões para um Estilo de Vida Ativo. Florianópolis, 7. ed, 2017. 362 p.

NHLBI. Workshop summary. Respiratory muscle fatigue. Report of the Respiratory Muscle Fatigue Workshop Group. **The American Review of Respiratory Disease**, [s. l.], v.142, n.2, p.474–80, 1990. <https://doi.org/10.1164/ajrccm/142.2.474>

NHS England. Aftercare needs of inpatients recovering from COVID-19. 2020. <https://www.pcrs-uk.org/sites/pcrs-uk.org/files/nhs-aftercarecovid.pdf>

Nieman, D. C.; Wentz, L. M. The compellig link between physical activity and the body's defense system. **Journal of Sport and Health Science**, v. 8, n. 3, p. 201-217, 2019.

NIHR. Living with Covid19- second review [Internet]. **National Institute for Health Research**, 2021. Available from: <https://www.nihr.ac.uk/news/nihrpublishes-second-themed-review-on-long-covid/27232>.

Office for National Statistics. Prevalence of ongoing symptoms following coronavirus (COVID-19) infection in the UK: 5 August 2021 [Internet] ONS, 2020.

Oliveira, R. R.; Rodrigues, T. P.; Silva, P. S. D.; Gomes, A.C.; Chammas, M. C. Lung ultrasound: an additional tool in COVID-19. **Radiologia Brasileira**, v.53, n.4, 2020. <https://doi.org/10.1590/0100-3984.2020.0051>

Ornell, F.; Schuch, J. B.; Sordi, A. O.; Kessler, F. H. P. "Pandemic fear" and COVID-19: mental health burden and strategies. **Brazilian Journal of Psychiatry**, v.42, n.3, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-4446-2020-0008>

Oxley, T. J.; Mocco, J.; Majidi, S.; Kellner, C. P.; Shoirah, H.; Singh, P.; De Leacy, R. A.; Shigematsu, T.; Ladner, T. R.; Yaeger, K. A.; Skliut, M.; Weinberger, J.; Dangayach, N. S.; Bederson, J. B.; Tuhim, S.; Fifi, J. T. Large-vessel stroke as a presenting feature of Covid-19 in the young. **New England Journal of Medicine**; p.382:e60, 2020. <https://doi:10.1056/NEJMc2009787>

Paulin, E.; Yamaguti, W.P.; Chammas, M. C.; Shibao, S.; Stelmach, R.; Cukier, A.; Carvalho, C. R. F. Influence of diaphragmatic mobility on exercise tolerance and dyspnea in patients with COPD. **Respiratory Medicine**, v.101, n.10, p.2113- 2118, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2007.05.024>

Pinet, C.; Cassart, M.; Scillia, P.; Lamotte, M.; Knoop, C.; Casimir, G.; Mélot, C.; Estenne, M. Function and bulk of respiratory and limb muscles in patients with cystic fibrosis. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v.168, n.8, p.989-994, 2003.

Pinto, S.; Alves, P.; Pimentel, B.; Swash, M.; de Carvalho, M. Ultrasound for assessment of diaphragm in ALS. **Clinical Neurophysiology**, v.127, n.1, p.892-897, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.03.024>

Powers, S. K.; Howley, E. T. Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho. 3. ed. São Paulo: Manole, 2000.

Rajan, S.; Khunti, K.; Alwan, N.; Steves, C.; Greenhalgh, T.; MarcDermott, N.; Sagan, A.; McKee, M. In the wake of the pandemic: preparing for Long COVID 2021. **World Health Organization**, 2021.

Ratnovsky, A.; Elad, D.; Halpern, P. Mechanics of respiratory muscles. **Respiratory Physiology e Neurobiology**, v.163, n.1-3, p.82-89, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2008.04.019>

Ren, L.; Fan, G.; Wu, W.; Guo, L.; Wang, Y.; Li, X.; Wang, C.; Gu, X.; Li, C.; Wang, Y.; Wang, G.; Zhou, F.; Liu, Z.; Ge, Q.; Zhang, Y.; Li, H.; Zhang, L.; Xu, J.; Wang, C.; Wang, J.; Cao, B. Antibody responses and clinical outcomes in adults hospitalized with severe COVID-19: a post hoc analysis of LOTUS China trial. **Clinical Infectious Diseases**, v.72, n.10, e545-e551, 2021. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa1247>

Romer, L. M.; Lovering, A. T.; Haverkamp, H. C.; Pegelow, D. F.; Dempsey, J. A. Effect of inspiratory muscle work on peripheral fatigue of locomotor muscles in healthy humans. **Journal of Physiology**, v.571, n. 2, p.425-439, 2006. <http://dx.doi.org/10.1113/jphysiol.2005.099697>

Romer, L. M.; McConnell, A. K.; Jones, D. A. Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. **Journal of Sports Science**, v.20, n.7, p.547-562, 2002. <https://doi.org/10.1080/026404102760000053>

Salamanna, F.; Veronesi, F.; Martini, L.; Landini, M. P.; Fini, M. Post-COVID19 syndrome: the persistent symptoms at the postviral stage of the disease. A systematic review of the current data. **Frontiers in Medicine**, v.8, 2021. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.653516>

Saltin, B.; Nazar, K.; Costill, D. L.; Stein, E.; Jansson, E.; Essen, B.; Gollnick, D. The nature of the training response: Peripheral and central adaptations to one-legged exercise. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.96, p.289-305, 1976. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1976.tb10200.x>

Santana, P. V.; Cardenas, L. Z.; Albuquerque A. L. P.; Carvalho, C. R. R.; Caruso, P. Diaphragmatic ultrasound findings correlate with dyspnea, exercise tolerance, health-related quality of life and lung function in patients with fibrotic interstitial lung disease. **BMC Pulmonary Medicine**, v.19, n.1, p.183, 2019a. <https://doi.org/10.1186/s12890-019-0936-1>

Santana, P. V.; Cardenas, L. Z.; Albuquerque, A. L. P.; Carvalho, C. R. R.; Caruso, P. Ultrassonografia diafragmática: uma revisão de seus aspectos metodológicos e usos clínicos. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v.46, n.6, e20200064, 2020b

Santana, P. V.; Prina, E.; Albuquerque, A. L.; Carvalho, C. R.; Caruso, P. Identifying decreased diaphragmatic mobility and diaphragm thickening in interstitial lung disease: the utility of ultrasound imaging. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v.42, n.2, p.88-94, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1806-37562015000000266>

Shi, Y.; Wang, Y.; Shao, C.; Huang, J.; Gan, J.; Huang, X.; Bucci, E.; Piacentini, M.; Ippolito, G.; Melino, G. COVID-19 infection: the perspectives on immune responses. **Cell Death e Differentiation**, v.27, n.5, p.1451-1454, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41418-020-0530-3>

Simpson, R. J.; Kunz, H.; Agha, N.; Graff, R. Exercise and the Regulation of Immune Functions. **Progress in Molecular Biology and Translational Science**, v.135, p.355-380, 2015. <https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2015.08.001>

Souza, H.; Rocha, T.; Pessoa, M.; Rattes, C.; Brandão, D.; Fregonezi, G.; Campos, S.; Aliverti, A.; Dornelas, A. Effects of Inspiratory Muscle Training in Elderly Women on Respiratory Muscle Strength, Diaphragm Thickness and Mobility. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, v.69, n.12, p.1545–1553, 2014. <https://doi.org/10.1093/gerona/glu182>

Spiesshoefer, J.; Herkenrath, S.; Henke, C.; Langenbruch, L.; Schneppe, M.; Randerath, W.; Young, P.; Brix, T.; Boentert, M. Evaluation of Respiratory Muscle Strength and Diaphragm Ultrasound: Normative Values, Theoretical Considerations, and Practical Recommendations. **Respiration**, v.99, n.5, p.369-381, 2020. <https://doi.org/10.1159/000506016>

Starrit, E.; Angus, D.; Hargreaves, M. Effect of short-term training on mitochondrial ATP production in human skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**, v.86, n.2, p.450-454, 1999. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.2.450>

Tarantino, A. B. Doenças pulmonares. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.

Testa, A.; Soldati, G.; Giannuzzi, R.; Berardi, S.; Portale, G.; Silveri, N. G. Ultrasound M-mode assessment of diaphragmatic kinetics by anterior transverse scanning in healthy subjects. **Ultrasound in medicine e biology**, v.37, n.1, p.44–52, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2010.10.004>

Toresdahl, B. G.; Asif, I. M. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): considerations for the competitive athlete. **Sports Health**, v.12, n.3, p.221-224, 2020. <https://doi.org/10.1177/1941738120918876>

Ueki, J.; Bruin, De P. F.; Pride, N. B. In vivo assessment of diaphragm contraction by ultrasound in normal subjects. **Thorax**, v.50, n.11, p.1157-61, 1995. <http://dx.doi.org/10.1136/thx.50.11.1157>

Wilson, M. G.; Hull, J. H.; Rogers, J.; Pollock, N.; Dodd, M.; Haines, J.; Harris, S.; Loosemore, M.; Malhotra, A.; Pielles, P.; Shah, A.; Taylor, L.; Vyas, A.; Haddad, F. S.; Sharma, S. Cardiorespiratory considerations for return-to-play in elite athletes after COVID-19 infection: a practical guide for sport and exercise medicine physicians. **British Journal of Sports Medicine**, v.0, p.1–5, 2020. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102710>

Wu, D.; Shu, T.; Yang, X.; Jian-Xin, C.; Zhang, M.; Yao, C.; Liu, W.; Huang, M.; Yu, Y.; Yang, Q.; Zhu, T.; Xu, J.; Mu, J.; Wang, Y.; Wang, H.; Tang T.; Ren, Y.; Wu, Y.; Lin, S-

H.; Qiu, Y.; Zhang, D-Y.; Shang, V.; Zhou, Xi. Plasma metabolomic and lipidomic alterations associated with COVID-19. **National Science Review**, v.7, n.7, p.1157-1168, 2020. [https://doi: 10.1093/nsr/nwaa086](https://doi.org/10.1093/nsr/nwaa086)

Yamaguti, W. P. D, S.; Paulin, E.; Shibao, S.; Chammass, M. C.; Salge, J. M.; Ribeiro, M.; Cukier, A.; Carvalho, C. R. F. Air trapping: The major factor limiting diaphragm mobility in chronic obstructive pulmonary disease patients. **Respirology**, v.13, n.1, p.138-144, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.14401843.2007.01194.x>

Zambon, M.; Greco, M.; Bocchino, S.; Cabrini, L.; Beccaria, P. F.; Zangrillo, A. Assessment of diaphragmatic dysfunction in the critically ill patient with ultrasound: a systematic review. **Intensive Care Medicine**, v.43, n.1, p.29-38, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00134-016-4524-z>

Zhang, P.; Li, J.; Liu, H.; Han, N.; Ju, J.; Kou, Y.; Chen, L.; Jiang, M.; Pan, F.; Zheng, Y.; Gao, Z.; Jiang, B. Long-term bone and lung consequences associated with hospital-acquired severe acute respiratory syndrome: a 15-year follow-up from a prospective cohort study. **Pubmed**, v. 8, n.8, 2020. [https://doi: 10.1038/s41413-020-0084-5](https://doi.org/10.1038/s41413-020-0084-5)