

Exercícios resistidos progressivos como terapia motora para ratos com Doença de Parkinson

Progressive resistance exercises as motor therapy for rats with Parkinson's Disease

Ejercicios de resistencia progresiva como terapia motora para ratas con Enfermedad de Parkinson

Maisa Carla Coelho¹, Luiza Morais Araújo Souza², Ana Lívia Teixeira³,
Júlia Torga Souza⁴, Laila Cristina Moreira Damázio⁵

1.Acadêmica do curso de Fisioterapia do Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves (Uniptan/Afy). São João Del Rei-MG, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9091-1569>

2.Acadêmica do curso de Fisioterapia do Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves (Uniptan/Afy). São João Del Rei-MG, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6315-2242>

3. Acadêmica do curso de Fisioterapia do Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves (Uniptan/Afy). São João Del Rei-MG, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9204-5510>

4.Acadêmica do curso de Fisioterapia do Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves (Uniptan/Afy). São João Del Rei-MG, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3621-1283>

5.Fisioterapeuta. Professora e Orientadora do Curso de Medicina e Fisioterapia do Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves (Uniptan/Afy). São João Del Rei-MG, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7370-8892>

Resumo

Introdução. A Doença de Parkinson (DP) é progressiva, afetando o Sistema Nervoso Central com degeneração da substância negra do mesencéfalo e diminuição da síntese de dopamina no *striatum*, levando a problemas de controle motor e movimentos voluntários. A atividade física é uma opção terapêutica não farmacológica na DP, mas ainda há escassez de estudos em animais. **Método.** Este estudo analisou os exercícios resistidos progressivos em ratos Wistar, antes e após a indução da DP por estimulação elétrica na substância negra do mesencéfalo por 10 segundos. Os ratos treinaram na escada vertical por 4 semanas, 5 dias/semana, até 45 minutos, mantendo uma Frequência Cardíaca Máxima entre 80-95%. Exercícios ocorreram antes e depois da indução. Após o experimento e a eutanásia dos animais, o tecido nervoso e musculoesquelético das patas dianteira e traseira direitas foram coletados para análise histológica e histomorfometria, utilizando técnicas de coloração de Nissl, Azul de Toluidina, Tricrômico de Gomori e Verhoeff. **Resultados.** Houve um aumento na área e no diâmetro das fibras musculares do músculo flexor longo do hálux (pata traseira) nos grupos exercitadores antes e depois da DP. Entretanto, os exercícios não afetaram os componentes passivos de fibras de colágeno e elásticas nos músculos avaliados. **Conclusão.** Os exercícios resistidos progressivos demonstraram benefícios para o músculo flexor longo do hálux na pata traseira, mas não para o bíceps braquial na pata dianteira, em ratos com DP. Estes resultados fornecem *insights* importantes sobre os efeitos da atividade física resistida progressiva no contexto da DP.

Unitermos. Parkinson; Exercício Físico; Músculo Estriado

Abstract

Introduction. Parkinson's disease (PD) is progressive, affecting the Central Nervous System with degeneration of the substantia nigra of the midbrain and decreased dopamine synthesis in the striatum, leading to motor control problems and voluntary movements. Physical activity is a non-pharmacological therapeutic option in PD, but there is still a scarcity of animal studies.

Method. This study looked at progressive resistance exercise in Wistar rats, before and after PD induction by electrical stimulation in the substantia nigra of the midbrain for 10 seconds.

The rats trained on the vertical ladder for 4 weeks, 5 days/week, up to 45 minutes, maintaining a Maximum Heart Rate between 80-95%. Exercises occurred before and after induction. After the experiment and euthanasia of the animals, the nervous and musculoskeletal tissue of the right front and back legs were collected for histological and histomorphometric analysis, using Nissl, Toluidine, Gomori and Verhoeff Trichrome staining techniques. **Results**. There was an increase in the area and diameter of the muscle fibers of the flexor hallucis longus muscle (hind leg) in the exercise groups before and after PD. However, the exercises did not affect the passive components of collagen and elastic fibers in the muscles evaluated. **Conclusion**. Progressive resistance exercises have demonstrated benefits for the flexor hallucis longus muscle in the hind leg, but not for the biceps brachii on the front paw in rats with PD. These results provide important insights into the effects of progressive resistance physical activity in the context of PD.

Keywords. Parkinson's; Physical exercise; Striated Muscle

Resumen

Introducción. La enfermedad de Parkinson (EP) es progresiva, que afecta al sistema nervioso central con degeneración de la sustancia negra del mesencéfalo y disminución de la síntesis de dopamina en el cuerpo estriado, lo que conduce a problemas de control motor y movimientos voluntarios. La actividad física es una opción terapéutica no farmacológica en la EP, pero todavía hay escasez de estudios en animales. **Método.** Este estudio analizó el ejercicio de resistencia progresiva en ratas Wistar, antes y después de la inducción de la EP por estimulación eléctrica en la sustancia negra del mesencéfalo durante 10 segundos. Las ratas entrenaron en la escalera vertical durante 4 semanas, 5 días/semana, hasta 45 minutos, manteniendo una frecuencia cardíaca máxima entre 80-95%. Los ejercicios ocurrieron antes y después de la inducción. Después del experimento y la eutanasia de los animales, se recolectó el tejido nervioso y musculoesquelético de las patas delanteras y traseras derechas para el análisis histológico e histomorfométrico, utilizando técnicas de tinción tricrómica de Nissl, Toluidina, Gomori y Verhoeff. **Resultados.** Había un aumento en el área y el diámetro de las fibras musculares del músculo flexor largo (pata trasera) en los grupos de ejercicio antes y después de la EP. Sin embargo, los ejercicios no afectaron los componentes pasivos del colágeno y las fibras elásticas en los músculos evaluados. **Conclusión.** Los ejercicios de resistencia progresiva han demostrado beneficios para el músculo flexor largo de la pierna trasera, pero no para el bíceps braquial en la pata delantera en ratas con EP. Estos resultados proporcionan información importante sobre los efectos de la actividad física de resistencia progresiva en el contexto de la EP.

Palabras clave. Parkinson; Ejercicio físico; Músculo Estriado

Trabalho realizado no Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves (Uniptan/Afy). São João Del Rei-MG, Brasil.

Conflito de interesse: não

Recebido em: 02/07/2023

Aceito em: 25/10/2023

Endereço para correspondência: Laila CM Damázio. Praça Dom Helvécio 74. DEMED, Campus Dom Bosco da Universidade Federal de São João del-Rei. São João Del Rei-MG, Brasil. CEP 36301-160. Email: lailacmdamazio@gmail.com

INTRODUÇÃO

A Doença de Parkinson (DP) é uma doença degenerativa e progressiva do sistema nervoso central que causa degeneração dos neurônios da substância negra do mesencéfalo, responsáveis pela produção de dopamina para o *striatum*. A ausência de dopamina nesta via neuronal

provoca prejuízos no planejamento do movimento corporal, alterações na postura, na marcha e no equilíbrio¹.

A DP vem demonstrando maior incidência em comparação com outros distúrbios neurológicos, perdendo apenas para a Doença de Alzheimer. Essa comorbidade descoberta por James Parkinson, em 1817, é neurodegenerativa progressiva, definida pela presença de sintomas motores debilitantes primários, como a bradicinesia-hipocinesia, tremor em repouso, rigidez muscular, perda de reflexos posturais, fenômeno de congelamento, hipertonia dos músculos faciais, flexão do tronco e cotovelos; e motores secundários como, hipomimia, disfagia e micrografia. Concomitante, há sintomas não motores, que afetam a qualidade de vida do indivíduo como a disfunção intestinal, fadiga, depressão, declínio cognitivo, distúrbios do sono e perda do sentido do olfato^{2,3}.

O tecido muscular esquelético é bastante comprometido nos indivíduos com DP, onde observa-se alteração nos componentes ativos e passivos do tecido. Nesses indivíduos acontece uma rigidez muscular onde os componentes passivos, como o colágeno, prejudicam o relaxamento e alongamento muscular. A principal característica das estruturas passivas é a capacidade de oferecer resistência mecânica durante o alongamento, isto é, por mais que as fibras musculares permaneçam em alongamento, os componentes passivos começam a se romper fazendo com que a força diminua, com conservação da energia mecânica elástica. As estruturas passivas são responsáveis pela

contração muscular, quando ocorre a sobreposição da miosina e actina e possuem forte atração entre si⁴.

A DP afeta mais de 1% da população acima de 65 anos, sendo que, nos próximos anos, ocorrerá um aumento significativo no número de casos, passando de 6 milhões para 12 milhões em 2030. No Brasil, há estimativas de que cerca de 200 mil pessoas sejam portadoras da doença e que esse número aumentará para mais de 600 mil indivíduos em 2030⁵.

As alterações motoras em pacientes com DP são extremamente debilitantes ocasionando limitação da amplitude articular, rigidez muscular, bradicinesia, alterações posturais, desequilíbrio, dor, hipertonia plástica e alterações dos movimentos^{6,7}.

Considerando o envelhecimento populacional e o impacto da doença na economia e na sociedade, já que a DP pode afetar a população economicamente ativa e os sistemas previdenciários e de saúde pública e privada, é de extrema relevância o desenvolvimento de tratamentos mais acessíveis e eficazes no enfrentamento da doença, como o exercício físico. A prática de exercício físico é uma alternativa conhecida como preventiva e terapêutica para diversas doenças e tem sido associada aos efeitos neuroprotetores e ativadores do sistema dopaminérgico nigroestriatal^{3,8,9}.

A intensidade do programa de exercício físico executado pelo indivíduo com DP interfere diretamente nas funções motoras e capacidade cardiorrespiratória do indivíduo. Assim, um programa de exercício físico deverá ser

controlado e analisado para intervir nos objetivos que o indivíduo tem como meta. Estudos com exercícios físicos de leve e média intensidade já foram comprovados como sendo eficazes na melhora das condições musculoesqueléticas de pacientes com DP, assim como seu efeito neuroprotetor^{3,10}. No entanto, os exercícios resistidos progressivos ainda não foram testados em indivíduos e animais com DP.

Os modelos experimentais utilizando animais possibilitam uma análise minuciosa da forma pré-clínica sobre os efeitos dos programas de exercícios físicos em animais com doenças neurológicas¹¹. Com isso, foi utilizado no presente projeto um modelo experimental com ratos *Wistar* com o intuito de orientar novas estratégias terapêuticas em reabilitação neurológica.

Devido à carência na literatura de estudos que analisem os efeitos do exercício físico resistido progressivo antes e depois da cirurgia de indução da DP no tecido muscular esquelético de ratos com DP, o projeto se torna de suma importância como uma estratégia de intervenção clínica e motora.

Assim, o objetivo do estudo foi analisar os efeitos de um programa de exercícios físicos resistidos progressivos, realizado na escada, nos componentes ativos e passivos do tecido musculoesquelético de ratos, antes e depois da indução da Doença de Parkinson.

MÉTODO

Amostra

Foram utilizados 80 ratos Wistar machos (*Rattus norvegicus, var. albinus*) com 40 dias de vida e peso corporal entre 250 e 450 g. Os animais foram divididos em 8 grupos, com 10 ratos em cada grupo. Foram divididos sendo um grupo com 40 animais submetidos à cirurgia de indução da DP, sendo subdividido em: 10 animais treinados antes da indução da DP (DP-TA); 10 animais treinados depois da indução da DP (DP-TD); 10 animais treinados antes e depois da indução da DP (DP-TAD); 10 animais sedentários com indução da DP (DP-SED). Os outros 40 animais que foram submetidos ao acesso cirúrgico, mas não à lesão eletrolítica (Sham) da DP foram distribuídos da mesma forma descrita anteriormente.

Os procedimentos seguiram as normas éticas brasileiras e foi aprovado no comitê de ética envolvendo o uso de animais (CEUA) da Universidade Federal de São João Del-Rei com registro de CEUA - nº 9049140321.

Procedimento

Os animais foram adaptados à escada por três dias subindo a uma distância de 35cm da câmara, 55cm e 110cm da câmara. Após o período de adaptação, os ratos foram treinados com exercícios físicos progressivos de alta intensidade por 4 semanas, 5 dias por semana, com uma duração média de 30 a 45 minutos para cada sessão, com 8 sessões de 8 escaladas¹². Foram monitoradas a Frequência

Cardíaca máxima (FCmáx.) e a saturação de oxigênio do animal (SatO₂) para que o exercício consiga atingir de 80 a 95% da FCmáx. do animal.

Os intervalos entre as séries foram de 60 segundos e o peso utilizado foi fixado na porção proximal da cauda do animal a 3cm da sua raiz caudal¹²⁻¹⁴.

Os ratos foram anestesiados com Cetamina (75mg/Kg) e Xilazina (10mg/Kg), intraperitoneal. Em seguida, foi realizada a tricotomia e retirado o periósteo até chegar à região entre o Lambda e o Bregma, seguido da aplicação de um eletrodo para estimulação eletrolítica. As coordenadas para a aplicação do eletrodo foi: AP igual a -4,9, ML igual a 1,7 e DV igual a 8,1¹⁵. O eletrodo fez uma lesão na substância negra a partir de uma carga de corrente de 1mA por 10 segundos.

Após o programa de exercícios físicos, os animais foram eutanasiados e o encéfalo e os músculos esqueléticos (bíceps e flexor longo do hálux) das patas dianteiras e traseiras do animal foram retirados. A coleta do material biológico após eutanásia possibilitou analisar o efeito dos tratamentos no tecido muscular esquelético dos animais.

Para confirmação da lesão neurológica na substância negra do mensencéfalo o tecido nervoso foi corado pelo método de *Nissl*¹¹.

Os fragmentos dos músculos bíceps braquial e flexor longo do hálux foram processados e corados pela empresa Histotecnologia (Belo Horizonte/MG) com as técnicas de azul de toluidina, tricômico de Gomori e Verhoeff. As lâminas com

fatias de 4 μ m foram coradas para análise da presença das proteínas, sarcômeros, fibras elásticas e colágeno do tecido.

Logo após a captura das imagens realizadas por uma câmera acoplada ao microscópio, a análise da morfometria do material corado foi realizada com o auxílio do programa J Image, da seguinte forma, as lâminas coradas com azul de toluidina permitiram a captura de cinco imagens aleatórias no tecido muscular no aumento de 10x e 40x para contagem do número de células, cálculo da área da fibra muscular e diâmetro maior e menor da fibra muscular. Nas fatias coradas com Tricômico de Gomori para marcação de tecido conjuntivo foram analisadas no aumento de 40x, cinco regiões aleatórias do tecido conjuntivo para marcação da presença das intercessões da grade em locais corados entre as fibras musculares. Nas fatias coradas com Verhoeff para marcação de fibras elásticas foram analisadas no aumento de 40x, cinco regiões aleatórias do tecido para marcação da presença das intercessões da grade em locais corados entre as fibras elásticas do tecido musculoesquelético¹⁶.

Análise Estatística

A análise dos dados foi realizada com auxílio do programa estatístico GraphPad Prism 9.0, através da aplicação do teste de normalidade, seguido da utilização da análise de variância (ANOVA), One-Way, seguido do *post-test* de Tukey. Os resultados foram expressos em média \pm erro padrão da média e o nível de significância adotado foi de 5%.

RESULTADOS

Na coloração de azul de toluidina, para marcação das fibras musculares do músculo bíceps (pata dianteira) e flexor longo do hálux (pata traseira) foi possível identificar diferença significante na média da área das fibras musculares de bíceps e flexor longo do hálux (Figuras 1 e 2).

Figura 1. Média da área das fibras do músculo bíceps braquial dos grupos com Doença de Parkinson. DP-TD – Grupo de animais com Doença de Parkinson que realizaram exercício depois; DP-TAD – Grupo de animais que realizaram exercício antes e depois da Doença de Parkinson; DP-TA – Grupo de animais que realizaram exercício antes da Doença de Parkinson; DP-SED – Grupo de animais sedentários. A-Fotomicrografia do músculo bíceps corado com Azul de Toluidina no grupo DP-TA, B-Fotomicrografia do músculo bíceps corado com Azul de Toluidina no grupo DP-TD, C-Fotomicrografia do músculo bíceps corado com Azul de Toluidina no grupo DP-TAD e D-Fotomicrografia do músculo bíceps corado com Azul de Toluidina no grupo DP-SED. Objetiva de 40X. $p<0,05$, ANOVA, post-test Turkey.

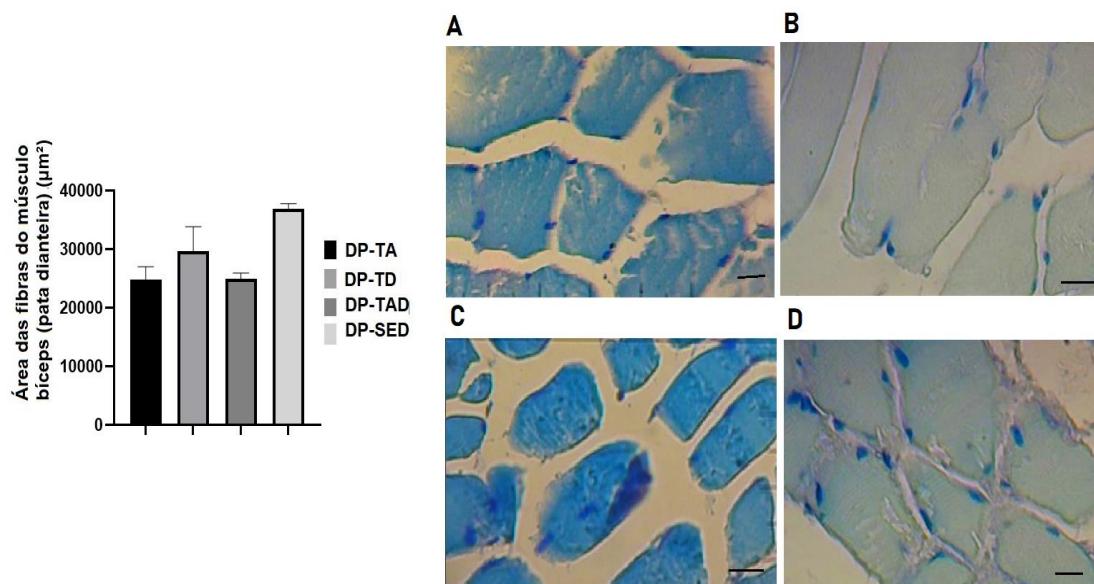
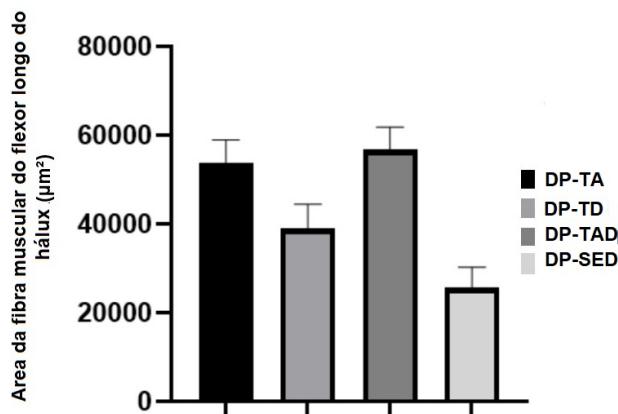


Figura 2. Média da área das fibras do músculo flexor longo do hálux dos grupos com Doença de Parkinson. DP-TD – Grupo de animais com Doença de Parkinson que realizaram exercício depois; DP-TAD – Grupo de animais que realizaram exercício antes e depois da Doença de Parkinson; DP-TA – Grupo de animais que realizaram exercício antes da Doença de Parkinson; DP-SED – Grupo de animais sedentários. $p<0,05$, ANOVA, *post-test* Turkey.



Os animais do grupo sedentário apresentaram maior média de área, igual a $36910\mu\text{m}^2$, em comparação com os outros grupos de Doença de Parkinson ($p=0,1239$). O grupo DP-TA apresentou média de área de $24865\mu\text{m}^2$, o grupo DP-TD igual a $29670\mu\text{m}^2$ e o grupo DP-TAD igual a $24985\mu\text{m}^2$, como demonstrado na Figura 1.

Os animais do grupo que exercitaram antes da Doença de Parkinson (DP-TA) e exercitaram antes e depois da doença (DP-TAD) apresentaram maior média de área, igual a $53870\mu\text{m}^2$ e $56713\mu\text{m}^2$, respectivamente ($p<0,0001$). O grupo DP-TD apresentou média de área de $38965\mu\text{m}^2$, o grupo DP-SED igual a $25657\mu\text{m}^2$, como demonstrado na Figura 2.

Ao analisar a média do diâmetro maior das fibras musculares de bíceps foram identificadas diferenças significantes entre as médias com maiores médias nos grupos, DP-SED, DP-TA e DP-TD ($p<0.0001$). A análise da média do diâmetro maior das fibras musculares de flexor longo do hálux demonstrou maiores médias nos grupos DP-TA e DP-TAD ($p<0.0001$).

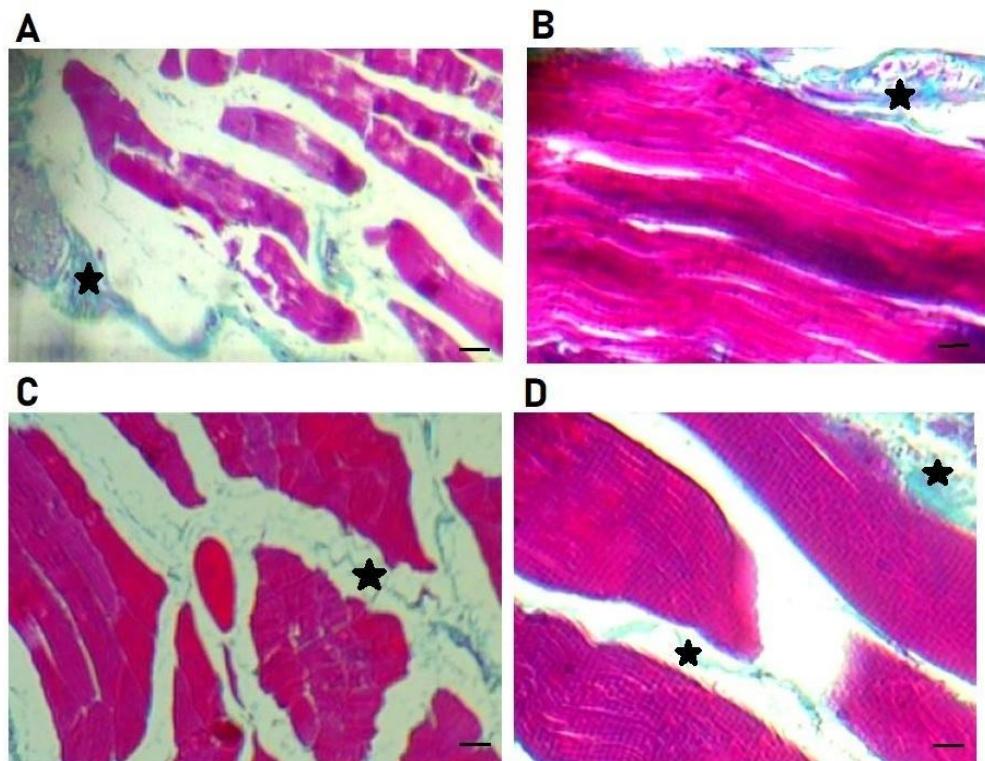
Os resultados sobre o diâmetro menor das fibras musculares de bíceps demonstraram maiores médias nos grupos DP-TA, DP-TD e DP-SED ($p<0,0001$). Já no músculo flexor longo do hálux foram observadas maiores médias nos grupos DP-TA, DP-TAD e SHAM-TAD ($p<0,0001$).

As análises dos dados da coloração de tricômico de gomori que visa marcar o tecido conjuntivo não demonstraram diferença significante, tanto no músculo bíceps, na pata dianteira quanto no flexor longo do hálux, na pata traseira ($p=0,6444$ e $p=0,2703$, respectivamente), como demonstrado na Tabela 1 e Figura 3.

Tabela 1. Média do número de fibras (n) e média da área das fibras (μm^2) do músculo bíceps e flexor longo do hálux. Coloração Tricômico de Gomori. ANOVA, *post-test* Turkey.

Grupos	média de fibras (n)		Média de área (μm^2)	
	Bíceps	Flexor longo do hálux	Bíceps	Flexor longo do hálux
DP-TA	19	7,75	380,9	257,9
DP-TD	21,83	17,14	524,7	365,6
DP-TAD	17,5	5,5	690,6	307,8
DP-SED	17	16,43	589,0	490
SHAM-TA	18,4	20,67	688,4	559,6
SHAM-TD	11,75	15,5	808,6	899,3
SHAM-AD	23,29	9,75	599,3	649,9
SHAM-ED	18	17,57	801,8	684

Figura 3. Fotomicrografia do músculo flexor longo do hálux corado com Tricrômico de Gomori. Objetiva de 40X. A-Grupo DP-TA, B-Grupo DP-TD, C- Grupo DP-TAD e D- Grupo DP-SED. ★Tecido conjuntivo corado.



A análise da coloração de Verhoeff que marca fibras elásticas, também, não demonstrou diferença significante, também no músculo bíceps e flexor longo do hálux ($p=0,7252$ e $p=0,1623$), como identificado na Tabela 2.

DISCUSSÃO

Os resultados da pesquisa demonstraram que o exercício resistido progressivo causa alterações na área das fibras musculares dos músculos bíceps e flexor longo do hálux, que são considerados estruturas ativas do tecido muscular esquelético. Sendo que, a pata dianteira não foi tão beneficiada com esta modalidade de exercício em comparação com a pata traseira. Não foi evidenciada

alteração nos componentes passivos do tecido musculoesquelético representada pela análise das fibras de colágeno (técnica de Tricrômico de Gomori) e fibras elásticas (técnica de Verhoeff).

Tabela 2. Média do número de fibras (n) do músculo bíceps e flexor longo do hálux. Coloração Verhoeff. ANOVA, *post-test* Turkey.

grupos	média de fibras (n)	
	bíceps	flexor longo do hálux
DP-TA	65,88	67,29
DP-TD	56,29	66,89
DP-TAD	60,63	63,43
DP-SED	61,75	83
SHAM-TA	65,5	65
SHAM-TD	58,75	56,75
SHAM-TAD	60,75	63
SHAM-SED	71	61

A DP é uma doença que vem aumentando em todo o mundo. Assim, as pesquisas que investigam intervenções terapêuticas tornam-se extremamente importantes^{5,17}. Esta doença ocasiona prejuízos no planejamento dos movimentos corporais, ocorre aparecimento de tremor em repouso, rigidez muscular, bradicinesia, dificuldade de realizar movimentos voluntários e instabilidade postural¹.

A rigidez muscular e as alterações do movimento são desencadeadas por distúrbios no tecido nervoso e

musculoesquelético do indivíduo¹⁸. As fibras musculares são agrupadas em feixes musculares e envolvidas por tecido conjuntivo e fibras elásticas. Os componentes ativos do tecido permitem a contração muscular pelo deslizamento dos filamentos de actina e miosina e os componentes passivos são o colágeno e as fibras elásticas¹⁹.

O presente estudo identificou diferenças significantes na área e diâmetro das fibras musculares, coradas com azul de toluidina, demonstrando que o músculo bíceps, da pata dianteira apresentou maior média no grupo sedentário em comparação com os outros grupos. Estes dados podem sugerir que a modalidade e intensidade de exercício utilizada não beneficiou os grupos de animais treinados em comparação com o grupo sedentário. Já na pata traseira, as médias das fibras musculares de flexor longo do hálux foram maiores nos grupos exercitados antes e antes e depois da DP, sugerindo que a modalidade de exercício e a intensidade empregada foram benéficos para estes grupos musculares.

Nos animais, como nos humanos, os músculos posteriores, pata traseira nos ratos e membros inferiores nos humanos apresentam formato e anatomia mais robusta em comparação com os músculos da pata dianteira, nos ratos^{20,21} e membros superiores nos humanos²². A anatomia e inervação dos músculos de pata dianteira, em ratos^{20,21} e membros superiores, em humanos²³, apresentam características morfológicas que sugerem serem músculos específicos para realização de tarefas finas, com menor carga. Mesmo os ratos sendo animais quadrúpedes, os

efeitos dos exercícios resistidos progressivos foram diferentes na pata dianteira e traseira dos animais²⁴. Em humanos, os déficits nos membros superiores dos indivíduos com DP são maiores e as intervenções terapêuticas auxiliam na reabilitação clínica dessas alterações²⁵. Assim, o presente estudo pode sugerir que a modalidade de exercício deve ser diferente quando objetiva ganho de força e aumento de fibras musculares dos músculos da pata dianteira ou traseira em ratos.

A análise dos componentes passivos, fibras elásticas e colágeno, não demonstraram diferenças significativas nos grupos exercitados, demonstrando que a modalidade de exercício utilizada não beneficiou estes componentes. Os componentes passivos do tecido musculoesquelético são importantes estruturas fisiológicas que auxiliam no movimento dos músculos dos membros superiores²⁶. A prática de exercício físico resistido progressivo não alterou a morfologia destes componentes, o colágeno e as fibras elásticas, no tecido musculoesquelético, tanto na pata dianteira quanto traseira dos animais com DP. Assim, esta estratégia terapêutica não modificou a morfologia destes componentes.

A prática de exercícios físicos progressivos resistidos são benéficos para os músculos da pata traseira dos animais com DP. No entanto, na pata dianteira, devido aos diferentes fatores morfológicos, a modalidade de exercício não demonstrou ser benéfica para a hipertrofia muscular. A presente pesquisa não analisou as junções neuromusculares

e por isso não pode sugerir alterações nesta unidade motora, mas confirma que a escolha da intervenção e modalidade de exercício deve considerar suas especificidades morfológicas.

CONCLUSÃO

Conclui-se que o exercício resistido progressivo causa alterações na área das fibras musculares dos músculos bíceps e flexor longo do hálux, que são consideradas estruturas ativas do tecido musculoesquelético. Sendo que, a pata dianteira não foi tão beneficiada com esta modalidade de exercício em comparação com a pata traseira. Não foi evidenciada alteração nos componentes passivos do tecido musculoesquelético representada pela análise das fibras de colágeno e fibras elásticas.

O estudo sugere que a escolha da modalidade de exercício deve ser diferente para o treinamento da pata dianteira e traseira dos animais, onde os membros posteriores (traseiros) se beneficiam com exercícios de carga e que os exercícios resistidos progressivos não beneficiam o tecido conjuntivo e elástico do tecido musculoesquelético.

AGRADECIMENTOS

À agência financiadora Fundação Nacional de Apoio a Pesquisa em Escolas Particulares - FUNADESP e ao Copex do Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves/Afyा.

REFERÊNCIAS

1. López CLM, Pacheco OB, Vincos GB, Cleves SCC. Enfermedad de Parkinson y covid-19: una pandemia en medio de otra. *Acta Neurol Colomb* 2020;36:39-46. <https://doi.org/10.22379/24224022292>
2. Conceição LR, Moura LP, Pauli JR. Benefícios do exercício físico nos distúrbios da doença de Parkinson induzidos em modelos animais. *Rev Edu Fís* 2019;25:E101957. <https://doi.org/10.1590/1809-2950/e22016223pt>
3. Huxley H, Hanson J. Changes in the Cross-Striations of Muscle during Contraction and Stretch and their Structural Interpretation. *Nature* 1954;173:973-6. <https://doi.org/10.1038/173973a0>
4. Pondé PDS, Neto WK, Rodrigues DN, Cristina L, Bastos MF, Sanches EF, et al. Respostas crônicas do treinamento físico e de imagética na doença de Parkinson. *Rev Bras Med Esporte* 2019;25:503-8. <https://doi.org/10.1590/1517-869220192506214238>
5. Hayes MW, Fung VSC, Kimber TE, O'Sullivan JD. Updates and advances in the treatment of Parkinson disease. *Med J Aust* 2019;211:277-83. <https://doi.org/10.5694/mja2.50224>
6. Cheong SL, Federico S, Spalluto G, Klotz KN, Pastorin G. The current status of pharmacotherapy for the treatment of Parkinson's disease: transition from single-target to multitarget therapy. *Drug Discov Today* 2019;24:1769-83. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2019.05.003>
7. Damiani APL, Caldas LC, Melo AB, Contreiro CDE, Estevam WM, Nogueira BV, et al. Protocolos de treinamento de força promovem aumento da força sem alterações morfológicas. *Rev Bras Med Esporte* 2020;26:253-7. <https://doi.org/10.1590/1517-869220202603209955>
8. Schenkman M, Moore CG, Kohrt WM. Effect of High-Intensity Treadmill Exercise on Motor Symptoms in Patients With De Novo Parkinson Disease. *JAMA Neurol* 2018;75:219-26. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2017.3517>
9. Vasconcelos NN, Pereira LA, Silva RSR, Dias KSSA, Mourão TS, Pereira LC, et al. High-intensity physical exercise promotes increased brain injury in rats with cerebral ischemia induced by bilateral common carotid artery occlusion. *Braz J Med Biol Res* 2021;30:106148. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.106148>
10. Peixinho-Pena LF, Fernandes J, Almeida AA, Gomes FGN, Cassilhas R, Venancio DP, et al. A strength exercise program in rats with epilepsy is protective against seizures. *Epilepsy Behav* 2012;25:323-8. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2012.08.011>
11. Hornberger TA, Farrar JR. Physiological hypertrophy of the FHL muscle following 8 weeks of progressive resistance exercise in the rat. *Can J App Physiol Champaign* 2004;29:16-31. <https://doi.org/10.1139/h04-002>
12. Cassilhas RC, Ismair TR, Daniel V, Jansen F, Sérgio T, Marco TDM. Animal model for progressive resistance exercise: a detailed description of model and its implications for basic research in exercise. *Motriz* 2012;19:178-84. <https://doi.org/10.1590/S1980-65742013000100018>

13. Lezcano LB, Pedre LDCL, Verdecia CIF, Sánchez TS, Fuentes NP, Turner LF, et al. Aplicación del test de la barra transversal modificado para evaluar ratas hemiparkinsonizadas. *Acta Biol Colomb* 2010;15:1-10. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/11998/20523>
14. Peretti AL, Antunes JS, Lovison K, Karvat J, Higuchi G, Brancalhão RMC, et al. Ação do exercício de subida em escada com sobrecarga na morfologia do músculo tibial anterior de ratos Wistar após axonotmeses. *ConScie Saúde* 2017;169:33-41. <https://doi.org/10.5585/ConsSaude.v16n1.6625>
15. Scorza FA, Antunes JS, Lovison K, Karvat J, Higuchi G, Brancalhão RMC, et al. The mitochondrial calcium uniporter: a new therapeutic target for Parkinson's disease-related cardiac dysfunctions? *Clinics* 2020;75:1-5. <https://doi.org/10.6061/clinics/2020/e1299>
16. Fasano A, Canning CG, Hausdorff JM, Lord S, Rochester L. Falls in Parkinson's Disease: A Complex and Evolving Picture. *Mov Disord* 2017;32:1524-36. <https://doi.org/10.1002/mds.27195>
17. Junqueira LC, Carneiro J. Histologia básica. 13^a edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017; 568p.
18. Herbin M. Gait parameters of treadmill versus overground locomotion in mouse. *Behav Brain Res* 2007;181:173-9. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2007.04.001>
19. Klaczko J, Ferreira ACM, Falcão AL, Dillenburg G, Oliveira IF, Wanderley PS, et al. Atlas fotográfico de anatomia comparada de vertebrados. Volume IV – Sistemas Esquelético e Muscular. Brasília: Universidade de Brasília. 2019. LIVRO_AtlasSistemasEsqueléticoMuscular_animais.pdf
20. Magee DJ. Avaliação musculoesquelético. 5^a ed. Barueri: Manole; 2010; 1225p.
21. Neumann DA. Cinesiologia do aparelho musculoesquelético-fundamentos para reabilitação. 3^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2018; 776p.
22. Mesquita IG, Moreira GMS, Silva SV, Silveira AT, Silva LAS, Damázio LCM. Benefícios do treinamento com exercícios resistidos progressivos no desempenho motor e na hipertrofia muscular de ratos com doença de Parkinson. *Fisioter Pesqui* 2023;30:e22016223. <http://doi.org/10.1590/1809-2950/e22016223pt>
23. Moreno LCL, Bernanl-Pacheco O, Barrios GV, Cerquera CSC. Enfermedad de Parkinson y COVID-19: uma pandemia em médio de outra. *Acta Neurol Colomb* 2020;36(suppl):39-46. <https://doi.org/10.22379/24224022292>
24. Kapandji AI. Fisiología Articular. 6^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017; 346p.