

AÇÃO DA VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO NA MORFOLOGIA DO MÚSCULO TIBIAL ANTERIOR DE RATAS WISTAR OOFORECTOMIZADAS

ACTION OF THE WHOLE BODY VIBRATION ON THE MORPHOLOGY OF THE ANTERIOR TIBIAL MUSCLE OF WISTAR OOPHORECTOMIZED RATS

Carolina De Toni Boaro¹, Matheus Felipe Zazula², Diego Francis Saraiva Rodriguez¹, João Lucas Theodoro¹, Ana Luiza Peretti³, Christian Bergmann Kirsch¹, Gladson Ricardo Flor Bertolini¹, Rose Meire Costa¹, Lucinéia de Fátima Chasko Ribeiro^{4*}

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde – Cascavel – Paraná – Brasil. ² Universidade Federal do Paraná – Departamento de Biologia Celular – Curitiba – Paraná – Brasil.

³ Instituto de Desenvolvimento Educacional do Alto Uruguai – Getúlio Vargas – Rio Grande do Sul – Brasil.

⁴ Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Centro de Ciências Médicas e Farmacêuticas – Cascavel – Paraná – Brasil

*Autor Correspondente: Lucinéia de Fátima Chasko Ribeiro. Rua Universitária, 2.069 – Jardim Universitário. CEP: 85819-110 – Cascavel, PR, Brasil. Tel.: (45) 3220-3157 E-mail: lucineia.cr@gmail.com

RESUMO

O estrogênio é essencial para manutenção da massa e da força muscular, e a sua diminuição na menopausa leva à sarcopenia. Dentre as modalidades terapêuticas, a vibração de corpo inteiro (VCI) se destaca como um tratamento que promove melhora em diversos parâmetros fisiológicos, mas seus efeitos teciduais ainda são poucos compreendidos. Diante disso, este estudo analisou a ação da VCI na morfologia do músculo tibial anterior de ratas ooforectomizadas. Para tanto, 32 ratas *Wistar* foram separadas em grupos: ooforectomia (GO) e pseudo-ooforectomia (GP). Posteriormente, o GO e GP foram subdivididos em mais dois grupos: tratados (GOT e GPT) ou não (GO e GP) com VCI. A plataforma vibratória foi utilizada como fonte de VCI em três sessões semanais alternadas, por 10 minutos diários durante oito semanas, com uma frequência de 60 Hz e amplitude de 2 mm. Após o período experimental, o músculo tibial anterior foi coletado e submetido ao preparo histológico. Analisando a área de secção transversa, diâmetros maior e menor da fibra muscular e porcentagem de tecido conjuntivo, não foram verificadas diferenças estatísticas. Entretanto, na razão de núcleo por fibra (N/F) e na quantidade de núcleos totais, foram verificadas diferenças significativas entre GP e GO ($p < 0,005$). Morfologicamente, considerando a porcentagem de núcleos centrais, verificou-se redução da porcentagem nos animais tratados em relação aos sedentários. A partir disso, infere-se que o tempo para indução dos efeitos da privação hormonal foi insuficiente para causar a sarcopenia do músculo nos grupos ooforectomia, e o protocolo de exercício com VCI restaurou os padrões de núcleos centrais, indicando que acelera o processo de reparo muscular.

Palavras-chave: Menopausa, Exercício físico, Sarcopenia, Plataforma vibratória, Músculo esquelético.

ABSTRACT

Estrogen is essential for maintaining the mass and strength of the muscle, and its decrease in menopause leads to sarcopenia. Among the therapeutic modalities, the whole body vibration

(WBV) stands out as a treatment that promotes improvement in several physiological parameters, but its tissue effects are still poorly understood. That said, this study analyzed the action of WBV on the morphology of the anterior tibial muscle of oophorectomized rats. Therefore, 32 female Wistar rats were divided into groups, oophorectomy (GO) and pseudo-oophorectomy (GP). Subsequently, GO and GP were subdivided into two more groups: treated (GOT and GPT) or not (GO and GP) with WBV. The vibrating platform was used as a WBV source in three alternated weekly sessions, for 10 minutes daily for eight weeks, with a frequency of 60Hz and amplitude of 2 mm. After the experimental period, the anterior tibial muscle was collected and submitted to histological preparation. Analyzing the transverse section area, larger and smaller diameters of muscle fiber and percentage of connective tissue, it wasn't verified statistical differences. However, in the ratio of nuclei per fiber (N/F) and in the number of total nuclei, significant differences were identified between GP and GO ($p < 0,005$). Morphologically, considering the percentage of central nuclei, a reduction of the percentage was observed in the treated animals in relation to the sedentary ones. From that, it is inferred that the time to the induction of the effects of hormonal privation was insufficient to cause sarcopenia of the muscle in the oophorectomy groups, and the exercise protocol with WBV restored the central nuclei patterns, indicating that it accelerates the muscle repair process.

Keywords: Menopause, Physical exercise, Sarcopenia, Vibrating platform, Skeletal muscle.

INTRODUÇÃO

O estrogênio é o hormônio esteroide de maior prevalência no organismo feminino, participa de diversos processos fisiológicos que culminam no equilíbrio homeostático e colabora ativamente para o processo de manutenção da massa e força muscular (CARSON; MANOLAGAS, 2015). A produção de hormônios pelos ovários reduz gradativamente com o passar dos anos e, a partir dos 40, essa diminuição é mais significativa. Esse período do ciclo da vida humana, denominado menopausa, caracteriza-se pela queda expressiva de hormônios esteroidais (SANTORO; EPPERSON; MATHEWS, 2015).

Dentre as consequências da diminuição abrupta nos níveis circulantes de hormônios esteroides, verifica-se o desequilíbrio entre a síntese e a degradação de proteínas no músculo estriado esquelético. A redução da massa muscular, em virtude do declínio no tamanho e/ou na quantidade das fibras do músculo, é conhecida como sarcopenia e interfere diretamente na capacidade de geração de força na contração muscular (BECKETT; TCHERNOF; TOTH, 2002; FIELDING et al., 2011).

Há evidências de que a vibração de corpo inteiro (VCI), obtida pelo uso de plataformas vibratórias, pode auxiliar no treino de força, reduzindo o tempo de execução, em comparação a outros programas de exercícios tradicionais, além de reduzir a sarcopenia (PARK; SON; KWON, 2015). Os efeitos teciduais da VCI ainda são pouco compreendidos; porém, essa forma de terapia se mostrou benéfica em alguns parâmetros como densidade óssea e força muscular (VERSCHUEREN et al., 2004; ZAZULA et al., 2020). Nesse sentido, faz-se necessária a realização de estudos que contribuam com informações sobre a ação da VCI no tecido muscular esquelético nas condições de privação hormonal (PH).

MATERIAL E MÉTODO

Todos os procedimentos deste estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, sob o número de portaria 2729/2014. Foram utilizadas 32 ratas da linhagem *Wistar*, nulíparas, com idade inicial de 60 dias, peso de $177 \pm 15,8$ gramas, mantidas em caixas padrão de polipropileno, em condições controladas de temperatura ($21 \pm 2^\circ$ C) e de luz (ciclo de 12 horas de claro e 12 horas de escuro), além de água e de alimento *ad libitum*.

Os animais foram randomizados em dois grupos experimentais (n=16): o grupo pseudo-ooforectomia (GP) e o grupo ooforectomia (GO). Após o período de 60 dias da realização das cirurgias, os animais foram subdivididos em quatro grupos experimentais (n=8): grupo pseudo-ooforectomia (GP), grupo pseudo-ooforectomia tratado (GPT), grupo ooforectomia (GO) e grupo ooforectomia tratado (GOT).

Os procedimentos de pseudo-ooforectomia e ooforectomia ocorreram aos 60 dias de vida dos animais. Para tanto, os animais foram pesados e anestesiados com 80 mg/kg de ketamina e 20 mg/kg de xilazina. Para o protocolo de ooforectomia, realizaram-se a tricotomia e a assepsia com álcool iodado na região inferior do ventre e, posteriormente, uma incisão longitudinal para acessar à cavidade peritoneal. Após a identificação das tubas uterinas e dos ovários, foi realizada sutura na área dos cornos uterinos, promovendo a ressecção dos ovários bilateralmente. Ao final do procedimento, foram feitas suturas internas com fio reabsorvível catgut 4.0 simples e as externas com fio de nylon 4.0. A pseudo-ooforectomia compreendeu as etapas cirúrgicas necessárias para o reconhecimento dos ovários, objetivando submeter os animais ao estresse provocado pela cirurgia, com exceção da remoção dos ovários (KHAJURIA; RAZDAN; MAHAPATRA, 2012).

O tratamento iniciou a partir da oitava semana pós-operatória, quando o período de indução da privação hormonal foi completado. O protocolo de tratamento foi adaptado de Butezloff et al. (BUTEZLOFF et al., 2015), e consistiu no uso da plataforma vibratória comercial da marca Arktus®, sendo que o exercício foi realizado três vezes por semana, por oito semanas, com uma frequência de 60Hz e amplitude de 2 milímetros durante 10 minutos. Para acomodar os animais sobre a plataforma, utilizou-se um suporte confeccionado em madeira de cor branca com 13 centímetros de largura, 19 centímetros de comprimento e 25 centímetros de altura, o qual foi dividido em oito baias individuais. Para evitar vieses de posicionamento, fez-se um rodízio, assim, os animais passaram por todas as baias durante os dias de tratamento (MARTIN KAKIHATA et al., 2019).

Após o período do tratamento, os animais foram anestesiados e eutanasiados por overdose de anestésicos. O músculo tibial anterior foi dissecado, fixado em solução de Metacarn e armazenado em álcool 70% para posterior procedimento histológico com desidratação em série crescente alcóolica, diafanização em álcool N-butílico e inclusão em parafina histológica. Posteriormente, os músculos foram cortados transversalmente em 5µm, as lâminas foram coradas em Hematoxilina e Eosina, para mensuração dos parâmetros morfológicos e morfométricos, e Tricrômico de Masson, para análise quantitativa do tecido conjuntivo.

Os materiais foram fotomicrografados utilizando-se o microscópio Olympus BX60® acoplado à câmera Olympus DP71 (Tóquio, Japão) e o programa DP controller 3.2.1276 em objetiva de 40x. Para análise morfológica, foi realizada uma varredura na secção transversa do músculo e fotografadas 10 fotos de cada animal para as análises morfológicas, morfométricas e quantificação de tecido conjuntivo. De cada fotomicrografia, foram selecionadas 10 fibras a partir de uma varredura do fascículo

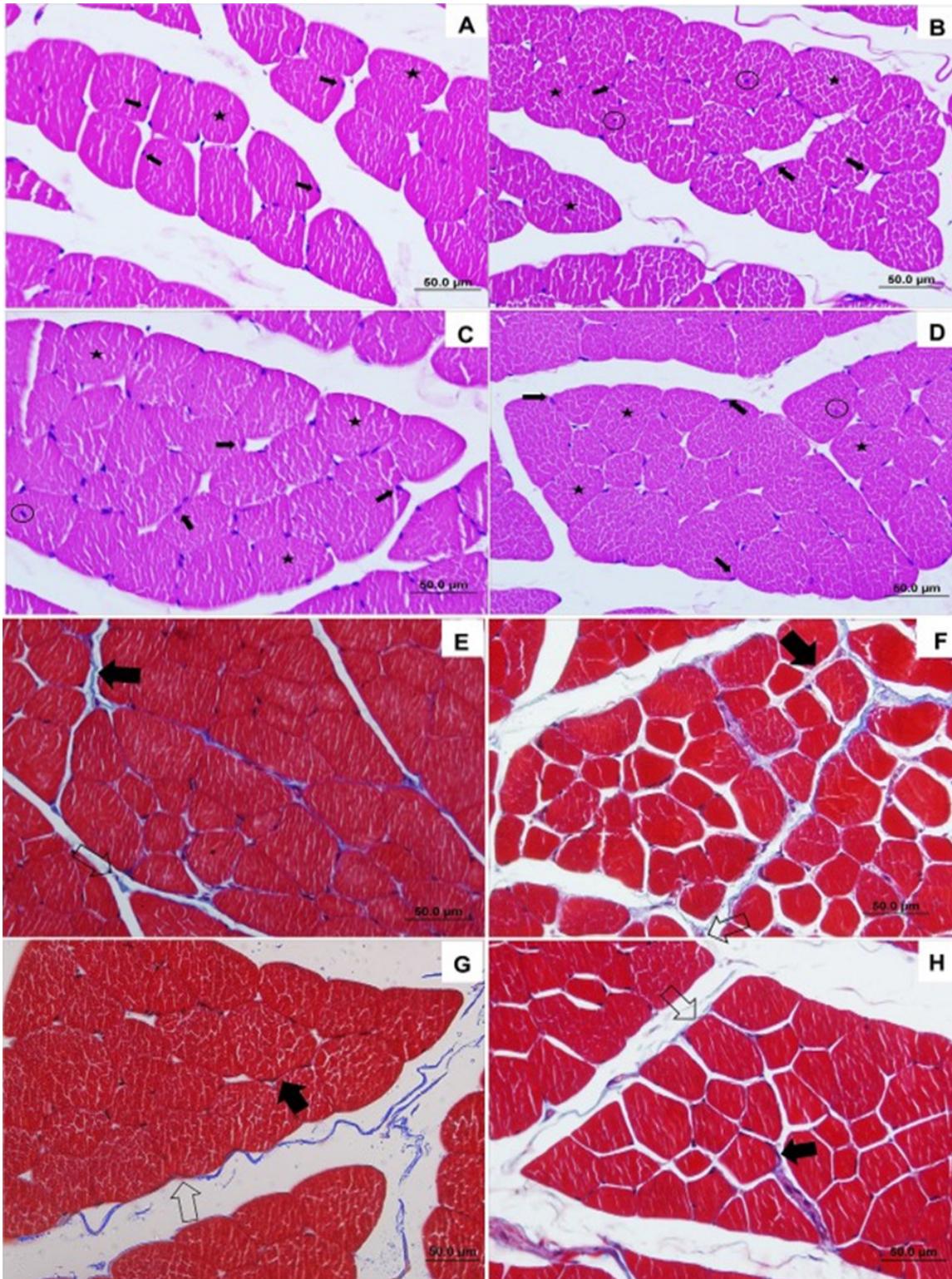
muscular, totalizando 100 fibras por animal. Foram analisadas a área de secção transversa (A), os diâmetros maior (D) e menor (d), a contagem (NT) e a disposição dos núcleos (periféricos e centrais) com a ajuda do programa Image ProPlus 6.0. Também foi realizada a análise da razão de núcleos por fibra (N/F), cuja quantidade total de núcleos observados nas 10 fibras foi dividida pela quantidade de fibras analisadas para cada foto (ZAZULA et al., 2020). Por meio da contagem de núcleos centrais e periféricos, foi realizada a percentagem de núcleos centrais (NC%).

Para análise do tecido conjuntivo, utilizou-se o programa Gimp 2.10, sendo analisadas 16 fotos por animal e realizada a comparação do número total de pixels da imagem com o número obtido do tecido conjuntivo, para mensuração dos percentuais de pixels referentes ao tecido conjuntivo total, endomísio e perimísio, do campo visual. Os dados obtidos foram analisados com estatísticas descritiva e inferencial, nos programas R e R Studio. Para escolher um teste estatístico adequado, foi avaliada a normalidade dos dados, em seguida, um teste de Análise de Variância de dois fatores (two way ANOVA) com pós-teste de LSD. O nível de significância adotado foi de 5%.

RESULTADOS

Os grupos revelaram as características morfológicas padrão do tecido muscular estriado esquelético. Foram observadas fibras em formato poligonal, com tamanhos similares e organizadas em fascículos, multinucleadas, com núcleos periféricos e posicionados imediatamente abaixo da membrana sarcoplasmática (Figuras 1A a 1D). No entanto, verificou-se maior incidência de núcleos de posição central nos animais dos grupos ooforectomizados, GO e GOT (Figuras 1C e 1D, respectivamente). A disposição do tecido conjuntivo (Figuras 1E a 1H), em azul na imagem, devido à técnica de coloração, manteve a organização padrão em todos os grupos, constituindo o endomísio, ao redor de cada fibra muscular, e o perimísio, delimitando os feixes de fibras musculares do tibial anterior.

Figura 1- Fotomicrografias do músculo tibial anterior de ratas *Wistar*. Secções transversais, colorações hematoxilina e eosina (A - D) e tricrômico de Masson (E - H). **A e E:** grupo pseudo-ooforectomia (GP); **B e F:** grupo pseudo-ooforectomia tratamento (GPT); **C e G:** grupo ooforectomia (GO); **D e H:** grupo ooforectomia tratamento (GOT). Fibras poligonais (estrela), núcleos periféricos (setas largas) e os núcleos centrais (círculos). Em azul (E até H), tecido conjuntivo do endomísio e perimísio e, em vermelho, fibras musculares.



No que se refere às mensurações histomorfométricas, os resultados estão apresentados na Tabela 1. Na área das fibras musculares (A), não foi observada interação entre os fatores. Analisando os fatores isolados, não houve diferença estatística ($p=0,103$; $F=2,837$; $CV=14,55\%$) em nenhum dos grupos analisados. Comparando-se o diâmetro maior (D) e o diâmetro menor (d), constatou-se que também não houve interação entre os fatores. Ao se analisar os fatores isoladamente, não foi verificada diferença significativa ($p=0,258$; $F=1,329$; $CV=7,60\%$ e $p=0,278$; $F=1,219$; $CV=8,09\%$), respectivamente.

No tocante ao número total de núcleos (NT), não houve interação entre os fatores ooforectomia e tratamento ($p= 0,231$; $F=1,501$; $CV=14,76\%$), porém, em análise simples, houve diferença no fator ooforectomia ($p= 0,000$; $F=13,716$), sendo que a média do número de núcleos foi 30,57% maior nos animais ooforectomizados. Quanto aos valores da relação núcleos por fibra (N/F), não houve interação entre os fatores ($p= 0,230$; $F=1,505$; $CV= 14,77\%$), mas, em análise simples, constatou-se diferença no fator ooforectomia ($p= 0,000$; $F=13,669$), em que a média da relação de núcleos por fibra foi 30,30% maior nos animais ooforectomizados.

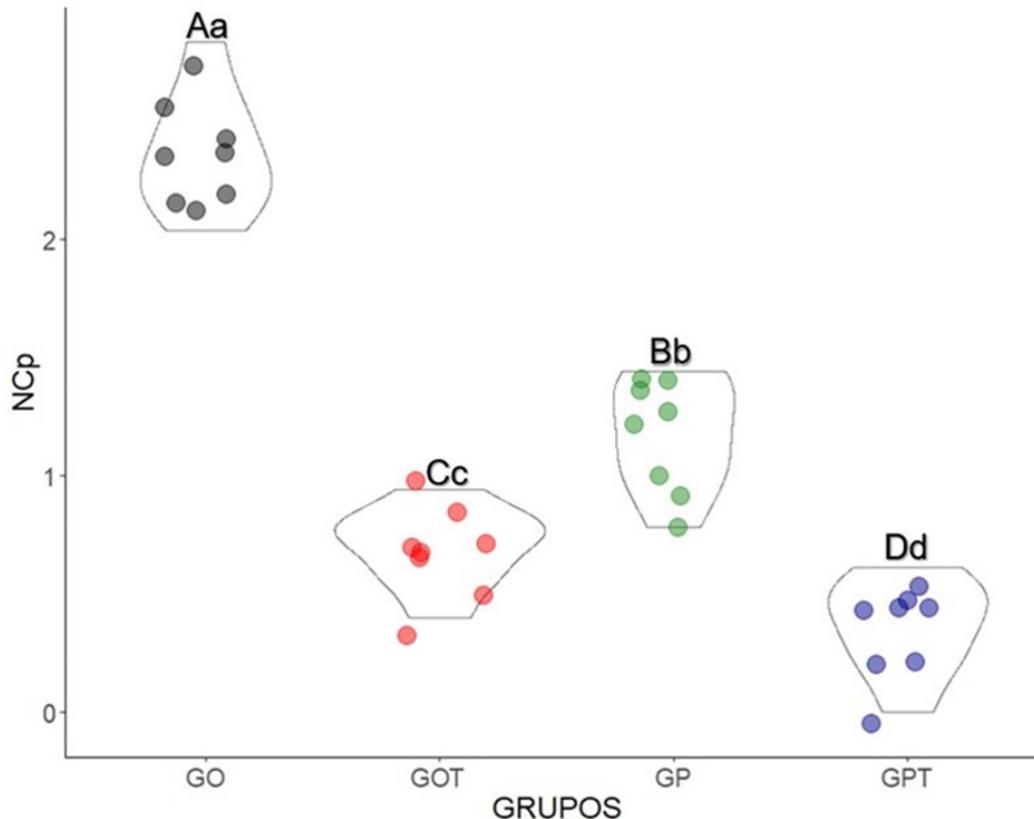
Na análise do percentual de núcleos centrais (NC%) (gráfico 1), houve interação dos diferentes níveis do fator exercício sobre o fator ooforectomia, sendo observadas maiores médias de núcleos centrais nos grupos sem tratamento GO e GP ($p= 0,000$; $F=98,745$; $CV=18,97\%$), quando comparadas aos grupos exercitados GOT e GPT. Foi verificado que, nos animais sedentários, a ooforectomia foi capaz de aumentar o percentual de núcleos centrais no músculo tibial anterior. Nos animais exercitados, por sua vez, constatou-se que o tratamento de vibração mecânica proporcionou um efeito restaurador dos padrões de núcleos centrais nos animais ooforectomizados em relação aos sedentários.

Conforme a mensuração da porcentagem de tecido conjuntivo total (TCT), não houve interação significativa entre os fatores, assim como entre os valores isolados ($p=0,332$; $F=0,973$; $CV=15,8\%$). Na mensuração do tecido referente ao endomísio (e) e ao perimísio (p), não foi encontrada interação significativa entre os fatores, assim como não houve diferença estatisticamente significativa ($p=0,672$; $F=0,182$; $CV=16,42\%$) e ($p=0,413$; $F=0,687$; $CV=18,2\%$), respectivamente.

Tabela 1 - Média \pm desvio padrão dos valores de área (A) (em μm^2), maior (D) e menor (d) diâmetros (em μm), número de núcleos totais (NT), relação de núcleos por fibra (N/F) e porcentagem de tecido conjuntivo total (TCT), endomísio (e) e perimísio (p) das fibras do músculo tibial anterior de ratas Wistar. GP: grupo pseudo-ooforectomia sedentário; GPT: grupo pseudo-ooforectomia exercício; GO: grupo ooforectomia sedentário, GOT: grupo ooforectomia exercício. PH: privação hormonal. VCI: exercício de vibração de corpo inteiro. Letras maiúsculas representam diferença estatística no fator ooforectomia e as minúsculas mostram diferença estatística no fator vibração de corpo inteiro.

	Grupos				p-Valores		
	GP	GPT	GO	GOT	PH	VCI	INT
A	1948,18 \pm 182,88	3107,45 \pm 288,97	2147,85 \pm 280,39	2132,63 \pm 380,43	0,103	0,950	0,837
D	57,40 \pm 3,98	57,35 \pm 4,48	59,33 \pm 4,81	59,57 \pm 5,09	0,258	0,824	0,918
d	44,20 \pm 1,68	43,60 \pm 4,44	45,05 \pm 3,11	45,57 \pm 5,329	0,278	0,974	0,663
NT	435 \pm 43,51 ^{Ba}	497 \pm 49,71 ^{Ba}	568 \pm 56,79 ^{Aa}	564 \pm 56,39 ^{Aa}	0,000	0,290	0,230
N/F	3,63 \pm 0,41 ^{Ba}	4,14 \pm 0,46 ^{Ba}	4,73 \pm 0,93 ^{Aa}	4,70 \pm 0,80 ^{Aa}	0,000	0,293	0,230
TCT	2,67 \pm 0,37	2,79 \pm 0,42	2,95 \pm 0,64	2,89 \pm 0,33	0,332	0,599	0,696
e	1,01 \pm 0,33	1,19 \pm 0,19	1,30 \pm 0,43	1,08 \pm 0,142	0,672	0,946	0,130
p	1,65 \pm 0,15	1,58 \pm 0,29	1,65 \pm 0,41	1,81 \pm 0,33	0,413	0,375	0,226

Gráfico 1 - Violinplot das porcentagens de Núcleos Centrais (NC%). GO: grupo ooforectomia sedentário; GOT: grupo ooforectomia exercício; GP: grupo pseudo-ooforectomia sedentário; GPT: grupo pseudo-ooforectomia exercício. Média dos valores da porcentagem de núcleos centrais. Letras maiúsculas mostram diferença estatística no fator ooforectomia e as minúsculas no fator vibração de corpo inteiro.



DISCUSSÃO

O modelo de ooforectomia mimetiza o hipoestrogenismo, característico da menopausa em humanos, cessando a liberação de estrogênio e afetando a homeostase de muitos sistemas corporais, incluindo o musculoesquelético, uma vez que nesse sistema há receptores para o estrogênio (SILVA et al., 2015; SIMAS et al., 2015). As alterações incluem a diminuição do número de miofibrilas, que pode levar à atrofia, a modificação na composição dos tipos de fibras do músculo e o aumento do tecido conjuntivo intersticial e de fibras colágenas, além da redução da massa e da resistência óssea (BRAGGION et al., 2016). Entretanto, ao analisar os resultados do presente estudo, não foram verificadas alterações musculares significativas com relação às análises das fibras musculares. O grupo ooforectomia (GO) apresentou morfologia semelhante ao pseudo-ooforectomia (GP), comprovada pela análise morfométrica, assim como a disposição de tecido conjuntivo (endomísio e perimísio) se mostrou normal em ambas as análises, indicando que o protocolo utilizado não foi capaz de causar a sarcopenia no músculo tibial anterior de ratas *Wistar*. Isso possivelmente deve-se à sua composição, isto é, ao tipo de fibra que compõe o músculo tibial anterior e o tempo de privação hormonal.

Os achados teciduais revelaram maior ocorrência de núcleos centrais nos animais ooforectomizados, sugerindo que o modelo causou danos teciduais e que, no período da análise, devida à alta

plasticidade muscular, os mecanismos regenerativos intrínsecos já haviam sido ativados. Ademais, pode-se inferir que o protocolo de tratamento de vibração mecânica proporcionou um efeito restaurador dos padrões de distribuição dos núcleos centrais, sugerindo que a terapia com vibração mecânica acelera o processo de reparo muscular.

O tecido muscular se caracteriza pela alta capacidade plástica e regenerativa frente a diversos estímulos (QAISAR; BHASKARAN; VAN REMMEN, 2016). Histologicamente, é possível notar sinais do processo de reparo muscular, sendo um deles a presença de núcleos centrais (DOE et al., 2017). O presente estudo verificou aumento significativo de núcleos centrais nos grupos ooforectomizados, assinalando a presença de fibras musculares em regeneração. Os núcleos centralizados apontam ocorrência de síntese proteica, que pode estar relacionada a um mecanismo de compensação ao catabolismo proteico característico da privação hormonal. Isso também contribui para salientar que o modelo de ooforectomia causou modificações no tecido; no entanto, essas não foram suficientes para causar a sarcopenia das fibras musculares. De forma complementar, o aumento de núcleos totais e da relação de núcleo por fibra, encontrado neste estudo, corrobora com a hipótese de regeneração tecidual, uma vez que os núcleos centrais migram para a periferia da célula após completarem o reparo (SOUZA et al., 2015).

Em músculos esqueléticos, Braggion et al. (BRAGGION et al., 2016), ao estudarem as repercussões bioquímicas e morfológicas dos músculos sóleo e gastrocnêmico de ratas após oito meses de privação hormonal e submetidas ao tratamento resistido, observaram que os animais ooforectomizados apresentaram redução do conteúdo proteico e do sarcoplasma, assim como da espessura e do volume das fibras musculares. Assim, classificaram essa alteração como um quadro típico de sarcopenia e perda da força e tônus muscular, resultante do déficit hormonal nos grupos ooforectomizados.

Barbosa et al. (BARBOSA et al., 2016), ao utilizarem o modelo de ooforectomia e avaliarem o músculo plantar, relataram que esse apresenta quantidades equivalentes de fibras do tipo I e do tipo IIA, sendo chamado de músculo misto. De acordo com os pesquisadores, com apenas 12 dias de privação hormonal houve alterações morfológicas e morfométricas nas fibras musculares. Eles constataram uma redução na área de secção transversa das fibras I e II dos grupos ooforectomizados em relação aos animais do grupo controle (pseudo-ooforectomizados). Diante disso, concluíram que o tipo de fibra e o seu metabolismo principal exercem influência sobre o grau de atrofia do tecido muscular.

Severi et al. (SEVERI et al., 2007) avaliaram a dinâmica funcional do estrogênio e as suas relações com os receptores de insulina no músculo esquelético. Para tanto, os autores verificaram a ação direta do hormônio na homeostase glicêmica e a manutenção de condições metabólicas adequadas, ou seja, a relativa baixa do hormônio no organismo é capaz de modular a captação de glicose pelo tecido. É possível que, em condições de baixos níveis de estrogênio, as fibras oxidativas do tipo I sejam favorecidas energeticamente, resultando em maior atrofia muscular. Já fibras de ação glicolítica, que dependem da captação de glicogênio, demorariam mais para serem recrutadas, diminuindo sua capacidade de produção de energia e entrando em um processo de regeneração muscular (FERREIRA et al., 2004). Isso corrobora com os achados morfológicos do presente trabalho, em que foi verificado aumento de núcleos centrais nos animais dos grupos ooforectomizados, representando um processo gradativo de reparo no músculo tibial anterior (glicolítico). Além disso, esse aspecto atesta a menor tendência de músculos predominantemente glicolíticos, como o tibial anterior, sofrerem atrofia muscular, se comparados aos músculos com metabolismo oxidativo, como o sóleo, em períodos semelhantes de privação hormonal.

Ao analisarem outros tecidos do organismo, Kakahata et al. (MARTIN KAKIHATA et al., 2019) e Simas et al. (SIMAS et al., 2015) utilizaram o mesmo tempo de privação hormonal do presente estudo e verificaram que o modelo de ooforectomia não alterou os padrões morfológicos e morfométricos do nervo periférico. Com relação à cartilagem articular, a redução hormonal gerou intensas mudanças, evidenciando degeneração nos animais ooforectomizados, quando comparados aos pseudo-ooforectomizados.

Levando em consideração que a menopausa não tem uma idade específica para demonstrar seus efeitos no corpo da mulher, variando entre os 35 e 65 anos, dependendo de cada organismo (TAIROVA; DE LORENZI, 2006), sugere-se que em modelo animal isso também possa acontecer. Sendo assim, o tempo de indução dos efeitos da privação hormonal pode não ter sido suficiente devido à característica do músculo tibial anterior sofrer menores alterações frente ao hipoestrogenismo, justificando ausência de alterações morfométricas nas fibras dos animais ooforectomizados em comparação aos controles.

O tratamento com VCI proporcionado pela plataforma vibratória tem se caracterizado como um tipo de terapia/modalidade terapêutica alternativa, uma vez que é de baixo custo, de fácil manuseio e possível de ser utilizado por pessoas de diversas idades e que não possam realizar exercícios físicos convencionais por algum tipo de limitação. Fisiologicamente, a VCI é capaz de potencializar a contração e o relaxamento muscular ao ativar o fuso muscular e o órgão tendinoso de Golgi, por estimular o reflexo miotático (ANWER et al., 2016; CERCIELLO et al., 2016). Suas vibrações são caracterizadas por estímulos mecânicos com movimentos que oscilam com variação de intensidade, de frequência, de amplitude e de magnitude do movimento gerado (VERSCHUEREN et al., 2011, 2004; ZAZULA et al., 2020).

Ao avaliar os dados do presente estudo, verificou-se que os animais que realizaram o tratamento com a plataforma vibratória apresentaram redução da porcentagem de núcleos centrais, quando comparados aos sedentários, tanto nos animais ooforectomizados quanto nos pseudo-ooforectomizados. Tal achado indica que a vibração mecânica melhorou os impactos degenerativos da privação hormonal, beneficiando o reparo tecidual. Semelhante a isso, em um modelo de imobilização, Zazula et al. (ZAZULA et al., 2020) mantiveram o músculo tibial anterior em completo alongamento por 15 dias. Verificaram redução significativa da área, maior e menor diâmetros, aumento na quantidade de núcleos centrais e da deposição de endomísio e perimísio nos animais imobilizados em relação aos controles. Ao utilizar a VCI na remobilização por duas semanas, verificaram que essa auxiliou na reorganização do tecido e reduziu consideravelmente a quantidade de núcleos centrais, beneficiando a regeneração tecidual. Analisando o efeito do exercício com VCI sobre a massa óssea em animais ooforectomizados, Kakahata et al. (MARTIN KAKIHATA et al., 2019) evidenciaram que os grupos exercitados durante quatro e oito tiveram ganho significativo de massa óssea do fêmur.

Uma vez que a VCI é um exercício que utiliza oscilações mecânicas transmitidas e amortecidas por diferentes estruturas do aparelho locomotor, suas implicações sobre o sistema muscular esquelético são muito divergentes, dependendo da localidade e da funcionalidade do material em estudo. Neste trabalho, justifica-se a ausência de achados morfológicos sobre as fibras do músculo TA, possivelmente pela sua alta resistência estrutural frente à estimulação neuromuscular exercida pela plataforma durante o protocolo de tratamento utilizado, diferentemente do encontrado em músculos posturais, como o sóleo (FRONTERA; OCHALA, 2015).

A privação hormonal, caracterizada pela menopausa, causa inúmeros efeitos no organismo feminino. Nessa perspectiva, para reduzir o risco de fraturas e doenças associadas, trabalhos que busquem avaliar seus efeitos, novos métodos de tratamento e exercícios físicos cada vez mais acessíveis e eficientes devem ser realizados, auxiliando a melhora da qualidade de vida das mulheres nessa fase. Contudo, devido à irregularidade presente na literatura acerca dos efeitos exercidos pelo déficit hormonal e da vibração mecânica sobre o sistema musculoesquelético e, em especial, sobre o músculo TA, restam dúvidas acerca de protocolos de reabilitação e de tratamento físico eficazes e seguros.

Os achados apontam que a VCI auxilia no processo de reparo tecidual nos animais e reforçam a importância de estudos futuros, utilizando-se de protocolos com diferentes intensidades e/ou regularidade de tratamento com plataforma vibratória.

CONCLUSÕES

A partir dos achados do presente estudo, pode-se inferir que o tempo para indução dos efeitos da privação hormonal foi insuficiente para causar a sarcopenia do músculo tibial anterior nos grupos ooforectomizados. Ademais, o protocolo de VCI proporcionou um efeito restaurador dos padrões de distribuição dos núcleos centrais, sugerindo que o exercício acelera o processo de reparo muscular.

REFERÊNCIAS

- ANWER, S. et al. Effect of whole body vibration training on quadriceps muscle strength in individuals with knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. **Physiotherapy (United Kingdom)**, v. 102, n. 2, p. 145–151, 2016.
- BARBOSA, M. R. et al. Resistance training and ovariectomy: antagonistic effects in mitochondrial biogenesis markers in rat skeletal muscle. **International Journal of Sports Medicine**, v. 37, n. 11, p. 841–847, 2016.
- BECKETT, T.; TCHERNOF, A.; TOTH, M. J. Effect of ovariectomy and estradiol replacement on skeletal muscle enzyme activity in female rats. **Metabolism**, v. 51, n. 11, p. 1397–1401, 2002.
- BRAGGION, G. F. et al. Morphological and biochemical effects on the skeletal muscle of ovariectomized old female rats submitted to the intake of diets with vegetable or animal protein and resistance training. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2016, p. 9251064, 2016.
- BUTEZLOFF, M. M. et al. Whole-body vibration improves fracture healing and bone quality in rats with ovariectomy-induced osteoporosis. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 30, n. 11, p. 727–735, 2015.
- CARSON, J. A.; MANOLAGAS, S. C. Effects of sex steroids on bones and muscles: Similarities, parallels, and putative interactions in health and disease. **Bone**, v. 80, p. 67–78, nov. 2015.
- CERCIELLO, S. et al. Clinical applications of vibration therapy in orthopaedic practice. **Muscles, Ligaments and Tendons Journal**, v. 6, n. 1, p. 147–156, 2016.
- DOE, J. et al. PTRH2 gene mutation causes progressive congenital skeletal muscle pathology. **Human Molecular Genetics**, v. 26, n. 8, p. 1458–1464, 2017.
- FERREIRA, R. et al. Atrofia muscular esquelética. Modelos experimentais, manifestações teciduais e fisiopatologia. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v. 2004, n. 3, p. 94–111, 2004.

- FIELDING, R. A. et al. Sarcopenia: An undiagnosed condition in older adults. Current consensus definition: Prevalence, etiology, and consequences. International Working Group on sarcopenia. **Journal of the American Medical Directors Association**, v. 12, n. 4, p. 249–256, 2011.
- FRONTERA, W. R.; OCHALA, J. Skeletal Muscle: A Brief Review of Structure and Function. **Behavior Genetics**, v. 96, p. 183–195, 2015.
- KHAJURIA, D. K.; RAZDAN, R.; MAHAPATRA, D. R. Description of a new method of ovariectomy in female rats. **Rev Bras Reumatol**, v. 52, n. 3, p. 462–470, 2012.
- MARTIN KAKIHATA, C. M. et al. Morphological and nociceptive effects of mechanical vibration on the sciatic nerve of oophorectomized Wistar rats. **Motriz. Revista de Educacao Fisica**, 2019.
- PARK, S.-Y.; SON, W.-M.; KWON, O.-S. Effects of whole body vibration training on body composition, skeletal muscle strength, and cardiovascular health. **Journal of exercise rehabilitation**, v. 11, n. 6, p. 289–95, 2015.
- QAISAR, R.; BHASKARAN, S.; VAN REMMEN, H. Muscle fiber type diversification during exercise and regeneration. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 98, p. 56–67, 2016.
- SANTORO, N.; EPPERSON, C. N.; MATHEWS, S. B. Menopausal symptoms and their management. **Endocrinology and metabolism clinics of North America**, v. 44, n. 3, p. 497–515, set. 2015.
- SEVERI, M. T. M. et al. The estrogen effect of glycogen reserves of denervated skeletal muscles of female rats. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 11, n. 1, p. 13–17, 2007.
- SILVA, L. I. et al. Avaliação de sóleos de ratas wistar ooforectomizadas e remobilizadas em meio aquático. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, 2015.
- SIMAS, J. M. et al. Effects of physical exercise on the cartilage of ovariectomized rats submitted to immobilization. **Einstein (São Paulo, Brazil)**, v. 13, n. 4, 2015.
- SOUZA, D. K. et al. Regulação e Ativação das Células Satélites Durante a Regeneração Muscular. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, 2015.
- TAIROVA, O. S.; DE LORENZI, D. R. S. The influence of exercise in the quality of life of postmenopausal women: a case-control study. **Rev. Bras. Geriatria e Gerontologia**, v. 8, n. 1, p. 135–146, 2006.
- VERSCHUEREN, S. M. et al. The effects of whole-body vibration training and vitamin D supplementation on muscle strength, muscle mass, and bone density in institutionalized elderly women: A 6-month randomized, controlled trial. **Journal of Bone and Mineral Research**, v. 26, n. 1, p. 42–49, 2011.
- VERSCHUEREN, S. M. P. et al. Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: A randomized controlled pilot study. **Journal of Bone and Mineral Research**, v. 19, n. 3, p. 352–359, 2004.
- ZAZULA, M. F. et al. Morphological effects of whole-body vibration on remobilization of the tibialis anterior muscle of Wistar rats. **Anatomical Record**, 2020.