

ANÁLISE ELETROMIOGRÁFICA DE MÚSCULOS DA COXA DURANTE A EXECUÇÃO DO EXERCÍCIO FOOTWORK DO MÉTODO PILATES EXECUTADO NO REFORMER

Cristina de Andrade Lemieszewski
Mariana Marques Garcias
Edgar Santiago Wagner Neto
Catiane Souza
Jefferson Fagundes Loss

Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança.

RESUMO

O exercício *Footwork no Reformer* é muito utilizado no Método Pilates tanto objetivando reabilitar alguma lesão em membros inferiores como para condicionamento físico. Considerando que variações nas características mecânicas de um movimento tendem a alterar a demanda muscular o presente estudo teve como objetivo analisar a atividade eletromiográfica dos músculos Reto Femoral (RF), Vasto Lateral (VL), Vasto Medial (VM), Bíceps Femoral (BF) e Semitendíneo (ST) de 18 mulheres quando a força resultante dos pés sobre a barra do equipamento *Reformer* era direcionada em três diferentes direções sendo elas: a direção da força horizontal (entre $+10^{\circ}$ e -10°), a direção da força “para cima” (acima de $+10^{\circ}$) e a direção da força “para baixo” (menor que -10°). Os resultados mostraram que houve diferença significativa para todos os músculos analisados. Os músculos RF, VL e VM tiveram maior ativação quando a força era direcionada “para cima”, e menor ativação quando a força era direcionada “para baixo”. O músculo BF apresentou maior ativação quando a força era direcionada “para baixo”, e menor ativação quando a força era direcionada horizontalmente. O músculo ST apresentou maior ativação quando a força era direcionada “para baixo”, e não houve diferença entre as outras duas situações. Entende-se que alterando a direção da força aplicada na barra do *Reformer* durante o exercício *Footwork*, terá um recrutamento diferente das musculaturas das coxas.

Palavras-chaves: Membros inferiores. Biomecânica. Pilates.

ELECTROMIOGRAPHIC ANALYSIS OF THIGH MUSCLES DURING THE EXECUTION OF THE FOOTWORK EXERCISE OF PILATES METHOD PERFORMED IN THE REFORMER

ABSTRACT

The *footwork* exercise performed in the *Reformer* apparatus is a very common in exercise the Pilates Studios. The instructors use this exercise to rehabilitate injuries of the lower limbs and to improve the physical condition of practitioners. There is some evidence to support that variations in the mechanics characteristics in a movement could change the muscle activation. The aim of this study was to analyze the electrical activation of the Rectus Femoris (RF), Vastus Medialis (VM), Vastus Lateralis (VL), Biceps Femoris (BF) and Semitendinosus (ST) muscles in 18 females when the resultant force of the feet acting on the footbar of the *Reformer* was applied in three different directions, as follow: horizontally (between $+10^{\circ}$ and -10°), “upwards” (over than $+10^{\circ}$) and “downwards” (below than -10°). The results showed that there was a significant difference for all the analyzed muscles. The RF, VL and VM muscles had greater activation when the force was directed “upwards”, and less activation when the force was directed “downwards”. The BF muscle showed greater activation when the force was directed “downwards”, and less activation when the force was directed horizontally. The ST muscle showed greater activation when the force was directed “downwards”, and there was no difference between the other two situations. It is understood that by changing the direction of the force applied to the *Reformer's* bar during the *Footwork* exercise, you will have different recruitment of the thigh muscles.

Keywords: Lower limbs. biomechanics, Pilates

INTRODUÇÃO

O método Pilates está cada vez mais difundido entre academias, estúdios e clínicas de fisioterapia, nos quais os exercícios são utilizados para a reabilitação ou manutenção de ganhos (MUSCOLINO; CIPRIANI, 2004), melhora de força, flexibilidade, equilíbrio e no pós-cirúrgico como tratamento conservador (LEVINE *et al.*, 2007). Para o fisioterapeuta o Método Pilates tem se mostrado eficaz, seja como meio de reabilitação principal, seja como complemento a outro método de tratamento (DA SILVA; MANNRICH, 2009).

Tem sido observada uma elevada incidência em lesões no aparelho locomotor, sobretudo em membros inferiores (PILEGGI *et al.*, 2010). Neste contexto, o fisioterapeuta tem um papel fundamental, seja no tratamento conservador seja no pré e pós-operatório, atuando para melhorar a qualidade de vida do paciente ou acelerar o processo de reabilitação (NOYES *et al.*, 2000). Dentre os diversos objetivos que o profissional almeja alcançar está a correção de desvios de alinhamento dos tornozelos e pés (SACCO, 2016). No ambiente do Método Pilates, para tal correção destaca-se a utilização do exercício *Footwork*. O *Footwork* constitui-se de uma flexo-extensão de tornozelos, joelhos e quadris, ao mesmo tempo em que se estabiliza a região lombopélvica, podendo ser realizado em três diferentes equipamentos desenvolvidos por Joseph Pilates. Entre eles, o mais popular e utilizado parece ser o *Reformer*, uma cama de madeira, com uma superfície deslizante, que utiliza molas como forma de resistência (SANTOS, 2010).

Na execução do *Footwork*, o praticante está posicionado em decúbito dorsal sob a superfície deslizante com os pés apoiados na barra fixa do equipamento. Inicialmente deve-se empurrar a barra com os pés. Este movimento ocorre contra a resistência das molas que estão conectadas a superfície deslizante. Na segunda fase do exercício, o praticante deve retornar para posição inicial, de forma que resista a tensão das molas. Contudo, a direção da força aplicada pelos pés sobre a barra durante a execução deste movimento pode variar de um executante para outro, alterando as estratégias de recrutamento muscular (CANTERGI *et al.*, 2014).

Santos (2010) analisaram o exercício *Footwork* realizado na *Chair* e no *Reformer* e constataram que o recrutamento dos músculos oblíquo externo, vasto lateral e reto femoral foi significativamente diferente quando o movimento era realizado em um ou outro equipamento do método. Contudo, não observaram diferenças significativas na atividade eletromiográfica dos músculos glúteo máximo, gastrocnêmio medial, bíceps femoral e multífidos. A este fato os autores atribuíram que tais achados podem ser justificados pela amplitude de movimento do exercício ser diferente entre os dois equipamentos e as estratégias de recrutamento dos indivíduos na execução dos gestos, visto que a carga final utilizada nos dois equipamentos era a mesma.

Considerando o potencial deste exercício na reabilitação de desalinhamentos nas articulações dos membros inferiores e as dúvidas sobre qual a melhor maneira de instruir o praticante a direcionar sua força sobre a barra de pés, o presente estudo teve como objetivo analisar o efeito da variação do ângulo de aplicação da força dos pés na atividade mioelétrica dos músculos: Reto Femoral, Vasto Lateral, Vasto Medial, Bíceps Femoral e Semitendíneo, durante a execução do exercício *Footwork* no *Reformer*.

METODOLOGIA

Amostra

O tamanho da amostra foi calculado usando o software G * Power 3.1, com base nos testes F, adotando um poder estatístico de 80%, probabilidade de erro de 5% e tamanho de efeito estimado de 0,35, resultando em um n de 15 indivíduos. Assim, prevendo eventuais perdas e para otimizar a qualidade do sinal EMG coletado, a amostra contou com 20 indivíduos do sexo feminino, saudáveis que apresentavam gordura corporal normal ou abaixo do normal para a faixa etária, de acordo com os padrões estabelecidos pelo American College of Sports Medicine (ACSM, 2017), com idade média de 29,0 ($\pm 3,6$) anos, massa 64,4 ($\pm 10,8$) kg e estatura de 1,64 ($\pm 0,06$) m. Os indivíduos eram não praticantes do método Pilates, não apresentavam lesão aguda ou histórico de lesão osteomioarticular nos membros inferiores nos últimos 6 meses, bem como não apresentavam dor ou limitação na amplitude de movimento do tornozelo que os impossibilitasse de realizar os movimentos avaliados. Duas participantes foram excluídas, uma por lesão no hálux direito, e uma por não conseguir executar o protocolo estabelecido, totalizando uma amostra com 18 indivíduos.

As participantes foram previamente instruídas sobre os objetivos e metodologias do presente estudo e concordaram em participar de maneira voluntária com a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS (CEP/UFRGS).

Todas as aquisições foram realizadas no Laboratório de Pesquisa do Exercício da UFRGS. Os indivíduos foram submetidos a um único dia de avaliação com duração aproximada de 90 minutos.

Procedimentos

Ao chegar ao laboratório os indivíduos foram inicialmente informados sobre os objetivos e procedimentos do presente estudo. Após concordarem com a participação de maneira voluntária e assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, foi realizada uma breve anamnese para confirmar a ausência de lesões e registro de informações relativas a massa e estatura, as quais foram auto referidas pelos indivíduos e utilizadas na caracterização da amostra do presente estudo.

Posteriormente o participante foi submetido à palpação para identificação do local de colocação dos eletrodos (Meditrace 100 -Ag/AgCl) e então foi realizada a preparação da pele, composta por tricotomia e limpeza com álcool. Os eletrodos foram posicionados na coxa direita, seguindo as recomendações do *SENIAM Project* (MERLETTI, 2000). Os eletrodos do músculo Reto Femoral foram posicionados a 50% sobre a linha a partir da espinha ilíaca anterior superior à parte superior da patela. Os eletrodos do músculo Vasto Lateral foram posicionados a 2/3 em linha a partir da espinha ilíaca anterior superior ao lado lateral da patela. Os eletrodos do músculo Vasto Medial foram posicionados a 80% sobre a linha entre a espinha ilíaca anterior superior e o espaço da articulação na frente da borda anterior do ligamento medial. Os eletrodos do músculo Semitendíneo foram posicionados a 50% sobre a linha entre a tuberosidade isquiática e o epicôndilo medial da tíbia. Os eletrodos do músculo Bíceps Femoral foram posicionados a 50% sobre a linha entre a tuberosidade isquiática e o epicôndilo lateral da tíbia. Um eletrodo utilizado para referência foi colocado sobre o maléolo direito.

Com os eletrodos já colocados, foi realizada uma breve familiarização dos indivíduos no aparelho *Reformer*. A qual foi composta por 10 execuções do exercício *Footwork*. Durante a execução do *Footwork*, o participante estava em decúbito dorsal sobre o carrinho do *Reformer* com os pés na barra de pés do aparelho. O movimento iniciava aplicando força na barra com os pés, gerando um movimento que ocorria contra a resistência das molas que estão conectadas à plataforma onde o participante estava deitado. Na segunda fase do exercício, o participante retornava para posição inicial, de forma a resistir à tensão das molas. Embora se trate de uma situação que envolve diversos músculos biarticulares, cruzando articulações onde os movimentos geram estímulos antagonísticos (por exemplo, durante a extensão do joelho e quadril, o reto femoral estava encurtando do ponto de vista da articulação do joelho e alongando em relação à articulação do quadril), a primeira fase do movimento foi considerada predominantemente concêntrica e a segunda fase predominantemente excêntrica.

Ao término da familiarização cada indivíduo realizou 2 CVMI (contração voluntária máxima isométrica) para os músculos anteriores de coxa (Reto Femoral, Vasto Lateral e Vasto Medial) e 2 CVMI para os músculos posteriores da coxa (Bíceps Femoral e Semitendíneo). Cada CVMI teve duração de 5 segundos e foi respeitado um intervalo de 3 minutos entre cada CVMI. O posicionamento dos participantes para a realização da coleta da CVMI foi baseado nas recomendações de Konrad (2006). A CVMI dos músculos anteriores da coxa foi realizada com o indivíduo posicionado sentado, com o quadril e joelhos flexionados a aproximadamente 90°. Foi fixada uma cinta próxima ao tornozelo para manter a isometria e o indivíduo realizou uma força para frente, tentando estender o joelho. A CVMI dos músculos posteriores da coxa foi realizada com o indivíduo posicionado em decúbito ventral, com o quadril estendido e o joelho posicionado a 20° de flexão foi fixada uma cinta no quadril e outra próxima ao tornozelo objetivando manter a característica isométrica da contração. Foi solicitado que o indivíduo fizesse força para flexionar o joelho. Em todas as execuções os participantes eram encorajados verbalmente para atingirem sua força máxima.

Ao término das aquisições referentes as CVMI os indivíduos foram novamente posicionados no aparelho *Reformer* para a realização do movimento *Footwork* em três diferentes situações: aplicando força horizontalmente na barra, aplicando força direcionada para cima e aplicando força direcionada para baixo. Um sistema de biofeedback projetado em uma tela posicionada na frente dos participantes apresentava, em tempo real, o ângulo da força aplicada sobre a barra. A angulação era medida entre o vetor força e a horizontal, de forma que quando a força estivesse perfeitamente alinhada com a horizontal o ângulo era zero. Quando a força estivesse direcionada para cima da barra, a angulação calculada era positiva e quando direcionada para baixo da barra, a angulação era negativa. Foi estabelecido que, para ser considerada uma força na direção horizontal (primeira situação), o ângulo de aplicação da força deveria estar entre +10° e -10°; para ser considerada uma força na direção “para cima” (segunda situação), o ângulo de aplicação da força deveria estar maior do que +10°; e para ser considerada uma força na direção “para baixo” (terceira situação), o ângulo de aplicação da força deveria estar menor que -10°. Em cada situação foram realizadas 5 repetições do movimento. A ordem de execução das situações foi randomizada entre os participantes.

Aquisição dos dados

Os dados de eletromiografia foram coletados através de um sistema de aquisição de dados Miotool Wireless USB conectado ao Software Miotec Suite (Miotec Equipamentos Biomédicos Ltda, Porto Alegre, Brasil). O equipamento possui oito canais analógicos de entrada com taxa de amostragem de 2000 Hz. A coleta dos dados foi realizada por uma Web Cam (Microsoft Lifecan HD-6000) sincronizada com a aquisição eletromiográfica. Para o controle da direção da força durante a execução do movimento foi utilizado o Software *ReformerDisplay* (Miotec Equipamentos Biomédicos Ltda, Porto Alegre, Brasil), este software calcula o ângulo da força resultante aplicada na barra de pés do equipamento *Reformer*. O diferencial deste *software* é que, além de calcular o ângulo de aplicação da força resultante, ele fornece um *biofeedback* deste ângulo em tempo real, permitindo que a direção da força fosse controlada pelos participantes, conforme as instruções, ao longo de todas as repetições do movimento. O processo de instrumentalização do equipamento *Reformer* foi realizado de acordo com Brodt *et al.*, (2014).

Tratamento dos dados

Os dados foram tratados no software BIOMECH SAS (versão 1.3) do Grupo de Investigação da Mecânica do Movimento (disponível em www.ufrgs.br/biomech). Após a remoção do off set, o sinal foi filtrado utilizando um filtro digital Butterworth passa banda com frequências de corte de 20 Hz à 400 Hz e quarta ordem. Cada curva foi recortada, com base nos dados cinemáticos da Web Cam, dando origem a cinco curvas, uma para cada repetição. O critério de recorte das curvas foi definido pelo vídeo, considerando o início de cada repetição o momento de menor distância entre o carrinho do *Reformer* e a barra de pés do mesmo, desconsiderando as pausas entre uma repetição e outra.

Para as CVMI foi realizada a remoção do off set, o sinal foi filtrado utilizando um filtro digital Butterworth passa banda com frequências de corte de 20 Hz à 400 Hz e quarta ordem e então foi realizado um envelope RMS com intervalo de 1 segundo e janelamento móvel do tipo Hamming. Para fins de normalização foi utilizado o maior valor do envelope de cada um dos músculos durante as CVMI. Para os exercícios foi utilizado o valor RMS de cada repetição, normalizado pelo valor da CVMI do respectivo músculo. Assumiu-se como valor representativo da ativação muscular da participante, a média das cinco repetições de cada situação.

Análise estatística

Para a comparar a ativação entre as diferentes direções de aplicação de força foram utilizadas múltiplas Anovas de medidas repetidas com um fator, uma para cada um dos músculos (Reto Femoral, Vasto Lateral, Vasto Medial, Bíceps Femoral e Semitendíneo). A normalidade dos dados e sua esfericidade foram testadas por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Mauchly respectivamente. Como a esfericidade foi violada (para todos os músculos) a correção de Greenhouse-Geisser foi aplicada. O fator analisado foi a direção da força, dividida em três níveis: horizontal (angulação entre -10° e $+10^\circ$), “para cima” (angulação maior que $+10^\circ$) e “para baixo” (angulação menor que -10°). Quando identificada diferença entre os níveis foi realizado um teste Post Hoc com correção de Bonferroni. O músculo Semitendíneo foi o único que não apresentou distribuição normal. Entretanto, consideramos que a ANOVA de medidas repetidas é robusta o suficiente, mesmo quando os dados não são considerados paramétricos (FIELD, 2009). Os resultados da ANOVA estão reportados como $[F(g^I_D, g^I_R) = \text{valor da estatística } F; p; \eta_p^2]$, conforme sugerido por Field (2009), onde g^I_D representa os graus de liberdade do fator direção, g^I_R representa os graus de liberdade do resíduo, e η_p^2 (eta parcial ao quadrado) representa uma estimativa do tamanho de efeito.

RESULTADOS

A direção de aplicação da força apresentou influência significativa em todos os músculos analisados. Para os músculos Reto Femoral $[F(1,101; 18,718) = 46,787; p < 0,001; \eta_p^2 = 0,733]$, Vasto Lateral $[F(1,272; 21,617) = 60,146; p < 0,001; \eta^2 = 0,780]$ e Vasto Medial $[F(1,197; 20,342) = 32,921; p < 0,001, \eta^2 = 0,659]$ houve diferença entre as três direções, onde a maior ativação ocorreu sempre quando a força era direcionada “para cima” e a menor ativação quando a força era direcionada “para baixo” (Tabela 1).

Para os músculos Bíceps Femoral $[F(1,097; 18,648) = 21,805; p < 0,001; \eta^2 = 0,562]$ a maior ativação ocorreu quando a força era direcionada “para baixo” e a menor ativação quando a força era direcionada horizontalmente, enquanto para o músculo Semitendíneo $[F(1,251; 21,267) = 47,677; p < 0,001; \eta^2 = 0,737]$ a maior ativação ocorreu quando a força era direcionada “para baixo”, comparativamente às direções horizontal e para cima, que não apresentaram diferença entre si (Tabela 1).

Tabela 1 - Ativação média (\pm desvio padrão) dos músculos, valores em percentual da CVMI, nas três direções analisadas. Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa entre as direções.

Músculo	Direção "para cima" ($>10^\circ$)	Horizontal	"para baixo" ($<10^\circ$)	P	η_p^2
Reto Femoral	88,1 ^a ($\pm 48,7$)	30,2 ^b ($\pm 17,0$)	9,3 ^c ($\pm 5,6$)	$<0,001$	0,733
Vasto Lateral	41,9 ^a ($\pm 16,6$)	20,0 ^b ($\pm 7,7$)	9,2 ^c ($\pm 3,4$)	$<0,001$	0,780
Vasto Medial	48,9 ^a ($\pm 23,6$)	24,5 ^b ($\pm 10,2$)	13,4 ^c ($\pm 5,7$)	$<0,001$	0,569
Bíceps Femoral	11,0 ^a ($\pm 5,6$)	6,3 ^b ($\pm 2,8$)	23,6 ^c ($\pm 15,3$)	$<0,001$	0,562
Semitendíneo	9,1 ^a ($\pm 6,9$)	7,5 ^a ($\pm 4,4$)	31,2 ^b ($\pm 13,0$)	$<0,001$	0,737

Fonte: os autores.

DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da variação do ângulo de aplicação da força dos pés na barra do aparelho *Reformer* na atividade mioelétrica dos músculos Reto Femoral, Vasto Lateral, Vasto Medial, Bíceps Femoral e Semitendíneo durante a execução do exercício *Footwork*. Houve grande influência da direção de aplicação da força na ativação muscular, comprovada não apenas pelo nível de significância obtido, mas também pelo grande tamanho de efeito obtido, em todos os músculos. Os músculos extensores do joelho (Reto Femoral, Vasto Lateral e Vasto Medial) foram mais ativados quando a direção era "para cima", enquanto os músculos Bíceps Femoral e Semitendíneo foram mais ativados quando a direção era "para baixo". Este resultado pode ser explicado pela direção da força de reação.

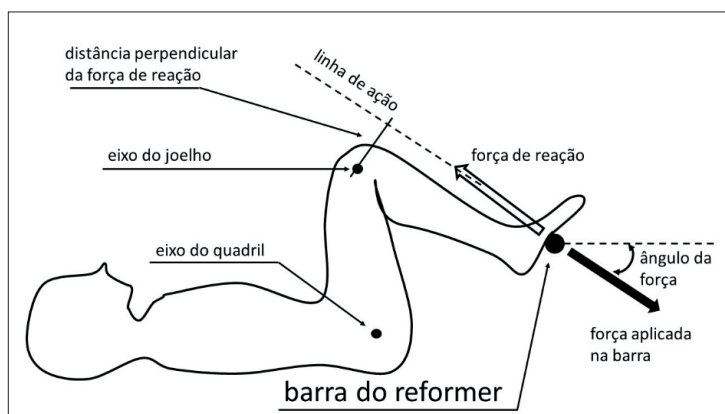
Do ponto de vista mecânico, durante a execução de um exercício, o recrutamento muscular pode ser entendido como uma resposta a um estímulo externo. Quanto maior o estímulo externo, maior a ativação da musculatura envolvida. O estímulo externo pode ser quantificado pelo torque aplicado ao segmento corporal envolvido, sendo diretamente proporcional à magnitude da força e à distância entre a linha de ação desta força e o eixo de rotação articular, definida como "distância perpendicular". Durante o exercício, a musculatura também irá gerar um torque sobre o mesmo cotovelo estendido por exemplo, o torque gerado pelo halter (juntamente com o peso do próprio segmento braço), será no sentido de aduzir a articulação do ombro. Como resposta a esta "ação externa", a musculatura abduutora é ativada, gerando um torque de abdução. Quanto maior o peso do halter, maior será o recrutamento muscular. Do mesmo modo, quanto maior a distância perpendicular do halter, ou seja, quanto mais afastada estiver a linha de ação do halter (que é vertical neste caso, definida pela ação da gravidade) da articulação do ombro, maior será o recrutamento muscular.

Quando o praticante aplica força sobre a barra, uma força na mesma direção e no sentido contrário (força de reação) é aplicada pela barra sobre o praticante. Esta força de reação é o estímulo mecânico do exercício. No exercício *Footwork*, o estímulo externo pode ser quantificado pelo torque da força de reação. A magnitude da força dependerá das molas utilizadas no exercício (número de molas, rigidez das molas e distensão sofrida pelas molas durante o exercício), e a distância perpendicular da linha de ação da força de reação. Quando o praticante empurra a barra "para baixo", por exemplo (Figura 1), a barra empurra a perna do praticante "para cima". A partir de uma certa angulação, a direção da força de reação tende a passar "por cima" do eixo articular do joelho, gerando um torque de extensão nesta articulação. Um estímulo externo de extensão induz a uma resposta muscular contrária, ativando assim os músculos flexores do joelho para gerar um torque de flexão. Quanto maior for a força de reação (mais molas, molas mais rígidas ou molas mais distendidas) e quanto maior for a distância perpendicular da força de reação (linha de ação mais distante do eixo do joelho), maior será o torque de extensão (estímulo externo), exigindo uma maior ativação dos músculos flexores do joelho. De forma similar, a tendência de rotação (torque) imposta pela força externa (a força de reação) na articulação do quadril é flexora. Assim, o movimento desta articulação será executado predominantemente pelos músculos extensores. Cabe ressaltar que ambos os músculos flexores do joelho que foram monitorados são biarticulares (Bíceps Femoral e Semitendíneo) e também desempenham um papel junto à articulação do quadril como extensores. Assim, quando o praticante empurra a barra do *Reformer* "para baixo" e a força de reação passa "por cima" do eixo articular do joelho, além de contrapor o estímulo mecânico sobre o joelho, estes músculos atuam para executar o movimento de extensão do quadril. Esta

ação muscular somada (sobre o joelho e quadril) é o que justifica a maior atividade dos músculos posteriores quando houve a solicitação de empurrar a barra “para baixo” (Tabela 1).

Quando o praticante aplica força na barra do *Reformer* empurrando a barra “para cima”, a linha de ação da força de reação passa “por baixo” do eixo de rotação do joelho, gerando nesta articulação um torque de flexão. Com a força externa impondo uma tendência de flexão no joelho, a musculatura ativa será predominantemente a musculatura extensora do joelho. Entre os músculos extensores de joelho monitorados está o Reto Femoral, que por ser biarticular também atua na articulação do quadril, como um flexor. Assim, quando a barra era empurrada “para cima”, e a linha de ação da força de reação passar por baixo do eixo articular do quadril, o estímulo mecânico externo será de extensão sobre esta articulação. De forma similar ao que aconteceu com os músculos biarticulares posteriores da coxa, quando a barra era empurrada “para baixo”, então quando a barra é empurrada para cima temos uma “soma de estímulos” para o Reto Femoral (a força externa tendendo a estender o joelho e o quadril), justificando a grande ativação deste músculo mensurada nesta situação (Tabela 1).

Figura 1 - Representação esquemática da direção da força aplicada sobre a barra do *Reformer* quando executado o exercício empurrando a barra “para baixo”.



Fonte: os autores.

Quando o praticante empurra a barra horizontalmente, a linha de ação da força de reação tende a passar “por baixo” do eixo articular do joelho e “por cima” eixo articular do quadril. Neste caso, o estímulo mecânico da força externa será de flexão sobre o joelho e sobre o quadril. Nesta condição, o músculo Reto Femoral será estimulado apenas pela sua capacidade de atuação da extensão de joelho, justificando a ativação menor do que quando a força é aplicada “para baixo”. Além disto, a distância perpendicular da força de reação tende a ser menor nesta situação, causando um menor torque, ou seja, menor estímulo externo. Este menor estímulo externo, em comparação à situação de empurrar “para cima”, justifica também a menor ativação dos músculos monoarticulares monitorados, o Vasto Lateral e o Vasto Medial, que foram significativamente menos ativados nesta situação (Tabela 1).

Cantergi *et al.*, (2014) já haviam identificado os diferentes torques externos que ocorriam durante a execução do exercício *Footwork*, executado no *Reformer*. Entretanto, a atividade muscular não foi medida diretamente. Utilizando um modelo biomecânico, foram estimadas matematicamente as forças de 36 músculos dos membros inferiores, utilizando apenas os dados antropométricos dos participantes e a força externa mensurada durante a execução do exercício *Footwork*. A grande diferença para os resultados obtidos entre os 15 participantes da amostra foi atribuída justamente as diferentes linhas de ação da força externa. Até onde pudemos investigar, o presente estudo é o primeiro a medir a ativação dos músculos da coxa com diferentes orientações na direção da força externa, durante a execução do exercício *Footwork*, comprovando o que havia sido previsto por Cantergi *et al.*, (2014).

A ativação de músculos durante a execução do exercício *Footwork* tem sido alvo de investigação. Buscando verificar a influência de diferentes posições dos membros inferiores na ativação muscular dos músculos Vasto Medial, Vasto Medial Oblíquo, Vasto Lateral, Tensor da Fásia Lata e Glúteo Máximo, durante a execução do exercício *Footwork* no *Reformer*, Lemos *et al.*, (2019) não encontraram diferenças significativas entre as posições verificadas, para os músculos em comum com o presente trabalho (Vasto Medial e Vasto Lateral). Cabe ressaltar que o foco do estudo de Lemos e colaboradores era identificar se havia diferença clinicamente relevante na atividade elétrica do músculo vasto medial oblíquo (VMO) entre as posições investigadas. Embora não tenham encontrado uma ativação preferencial do VMO nas condições

analisadas, os autores relatam terem observado “uma variação importante no padrão de ativação entre as participantes”. Tal variação talvez pudesse ser explicada pela diferença na direção da força externa, que não foi mensurada naquele estudo.

Sacco (2016) também descreveram a atividade elétrica muscular do Vasto Medial, Bíceps Femoral, Tibial Anterior, Gastrocnêmio Lateral e Fibular Longo, durante a realização de 3 variações do exercício *Footwork* no *Reformer*, encontrando maior ativação do Bíceps Femoral na posição em o arco do pé era apoiado sobre a barra. Embora a direção da força externa também não tenha sido mensurada, o apoio do arco do pé sobre a barra é uma posição que favorece o direcionamento da força sobre a barra “para baixo”, o que poderia ser considerado um resultado em acordo com os encontrados no presente estudo. Sacco (2016) também identificaram uma importante atuação dos flexores de joelho durante o movimento de extensão do joelho, identificada como uma co-contração entre as musculaturas agonistas e antagonistas do joelho, com o objetivo de proporcionar uma ação estabilizadora no joelho. Segundo estes autores, esta atuação da musculatura antagonista (os flexores de joelho atuando durante uma extensão de joelhos), permitiria uma melhor distribuição da pressão intra-articular, tornando o exercício mais seguro em relação à estabilidade articular, evitando os riscos de lesões ligamentares.

Fora do ambiente do Pilates, exercícios como o *Leg Press* e o agachamento podem ser comparados ao exercício *Footwork*, na medida em que trabalham também com a flexo-extensão de joelhos e quadris. Escamilla *et al.*, (2001) avaliaram a ativação eletromiográfica dos mesmos músculos monitorados no presente estudo, durante a execução dos exercícios de Agachamento e *Leg Press*, não encontrando diferença entre as posições em nenhum dos exercícios. Estes resultados discordam, de certa forma, dos resultados obtidos no presente estudo. Entretanto cabe salientar que, durante o agachamento, há poucas opções de variação da direção da força externa, que se mantem muito próxima da vertical. Outro aspecto importante que diferencia o estudo de Escamilla é a sua amostra, 10 homens que praticavam levantamento de peso em média há dez anos, e o protocolo do estudo, que previa a execução de 12 RM (repetições máximas). Assim, devido ao nível de treinamento da amostra, bem como a elevada carga utilizada durante as avaliações, as comparações com o presente estudo devem ser realizadas com cautela.

Entre as limitações deste estudo podemos mencionar o não monitoramento de alguns músculos, como por exemplo, o Glúteo Máximo, um importante extensor do quadril. Com base nos resultados deste estudo, especificamente os efeitos observados sobre os músculos monarticulares extensores de joelho, podemos especular que, tratando-se de um extensor do quadril monoarticular, a ativação seria maior na situação de empurrar a barra “para baixo”, intermediária quando a barra fosse empurrada horizontalmente, e menor na situação de empurrar a barra “para cima”. Uma outra limitação que pode ser citada é o monitoramento apenas do lado direito do corpo, assumindo que o exercício teria um efeito simétrico sobre o corpo. Cabe ressaltar que o sistema de medição de força também informa sobre o centro de pressão da força aplicada, que se manteve muito próximo ao centro da barra durante a execução dos exercícios, indicando que a força aplicada por cada um dos pés era bastante similar. Neste contexto, espera-se que as repostas musculares do lado direito e esquerdo também sejam razoavelmente similares.

Entendemos que a orientação de execução do exercício *Footwork* no aparelho *Reformer* não seguiu os padrões normalmente utilizados no Método Pilates. Entretanto, este aspecto não inviabiliza o estudo do ponto de vista prático, muito pelo contrário. Embora durante a execução do exercício de forma tradicional, a força não seja direcionada preferencialmente em alguma direção, como orientado neste estudo, ao longo do exercício a força pode assumir direções diferentes, dependendo de condições como o comprimento dos membros inferiores, a altura da barra em relação ao executante e a própria estratégia de movimento adotada pelo executante, como já havia sido mencionado na literatura (CANTERGI *et al.*, 2014). Os nossos resultados mostram que, principalmente o instrutor que orienta o exercício, não deve considerar que “a musculatura alvo do exercício são os extensores de joelho”, simplesmente por estar ocorrendo o movimento de extensão do joelho. Indivíduos mais altos, com membros inferiores compridos, tenderão a empurrar a barra para baixo, principalmente na primeira metade do exercício, quando os joelhos estiverem mais fletidos, ativando mais os músculos isquiotibiais. Já indivíduos com menor estatura, com membros inferiores menores, tenderão a empurrar a barra para cima, principalmente na segunda metade do exercício, quando os joelhos estiverem mais estendidos, ativando mais os extensores do joelho. Outra aplicação para os resultados do presente estudo pode ser justamente desafiar os indivíduos já praticantes do método a executarem o exercício de forma diferente. Uma das bases do Método Pilates é o desafio da estabilidade. Embora o indivíduo esteja com o hemicorpo superior completamente apoiado, facilitando a estabilidade do tronco, a estabilidade da pelve pode ser desafiada pela indicação de “aplicar força sobre a barra em uma direção pré-determinada”. Mesmo não “enxergando a direção da força” que está sendo aplicada, os praticantes poderão se beneficiar com diferentes estratégias musculares para e execução do “mesmo exercício”.

CONCLUSÃO

A direção de aplicação da força na barra do *Reformer* tem grande influência sobre a atividade mioelétrica dos músculos Reto Femoral, Vasto Lateral, Vasto Medial, Bíceps Femoral e Semitendíneo durante a execução do exercício *Footwork* do Método Pilates. Os extensores do joelho são mais ativados quando a barra é empurrada para cima ou horizontalmente, enquanto os flexores do joelho são mais ativados quando a barra é empurrada para baixo.

REFERÊNCIAS

- ACSM. **ACSM's guidelines for exercise testing and prescription**. Wolters Kluwer: Lippincott Williams & Wilkins, 2017.
- BRODT, G.A. et al. An Instrumented Footbar for Evaluating External Forces in Pilates. **Journal of Applied Biomechanics**, v.30, n.3, p.483-490, 2014.
- CANTERGI, D.; LOSS, J.F.; JINHA, A.; BRODT, G.A.; HERZOG, W. Muscle strategies for leg extensions on a -Reformer- apparatus. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v.25, p.260-264, 2014.
- DA SILVA, A.C.L.G.; MANNRICH, G. Pilates na reabilitação: uma revisão sistemática. **Fisioterapia em movimento**, v.22, n.3, p.449-455, 2009.
- ESCAMILLA, R.F. et al. Effects of technique variations on knee biomechanics during the squat and leg press. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v.33, n.9, p.1552-1566, 2001.
- FIELD, A. **Descobrimos a estatística usando o SPSS-2**. Bookman Editora, 2009.
- KONRAD, P. The ABC of EMG: a practical introduction to kinesiological electromyography, 1.4 edn. Noraxon, USA. 2006.
- LEMOS, L.P.M. et al. Atividade elétrica muscular de vasto medial, vasto medial oblíquo, vasto lateral, glúteo médio e tensor da fáscia lata no exercício *footwork* realizado no *reformer* segundo o método Pilates. **Fisioterapia Brasil**, v.20, n.4, p.22-32, 2019.
- LEVINE, B. et al. Rehabilitation after Total Hip and Knee Arthroplasty. **Bulletin of the NYU hospital for joint diseases**, v.65, n.2, p.120-125, 2007.
- MERLETTI, R. Surface electromyography: The SENIAM project. **European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine**, v.36, n.4, p.167-169, 2000.
- MUSCOLINO, J.E.; CIPRIANI, S. Pilates and the "powerhouse". **Journal of bodywork and movement therapies**, v.8, n.1, p.15-24, 2004.
- NOYES, F.R. et al. Prevention of permanent arthrofibrosis after anterior cruciate ligament reconstruction alone or combined with associated procedures: a prospective study in 443 knees. **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, v.8, n.4, p.196-206, 2000.
- PILEGGI, P. et al. Incidência e fatores de risco de lesões osteomioarticulares em corredores: um estudo de coorte prospectivo. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v.24, n.4, p.453-462, 2010.
- SACCO, I.C.N. Comparação da cinemática e atividade muscular e de joelho e tornozelo entre três exercícios de *footwork* do Método Pilates. **Fisioterapia Brasil**, v.16, n.4, p.305-311, 2016.
- SANTOS, A.B. dos. **Análise comparativa de variáveis biomecânicas e da percepção de esforço do exercício leg work do Pilates realizado na Chair e no Reformer**. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Educação Física, Programa de Pós-graduação em Ciência do Movimento Humano, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa Miotec Equipamentos Biomédicos Ltda pelo software de biofeedback. Agradecemos a empresa PhysioPilates pelo estúdio de Pilates cedido à Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BIOMEC – Grupo de Investigação da Mecânica do Movimento
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança
R. Felizardo, 750 - Jardim Botânico
Porto Alegre/RS
90690-200