



FADIGA CENTRAL E PERIFÉRICA: UMA BREVE REVISÃO SOBRE OS EFEITOS LOCAIS E NÃO LOCAIS NO SISTEMA NEUROMUSCULAR

ISSN: 2178-7514

Vol. 8 | Nº. 1 | Ano 2016

The central and peripheric fatigue: a brief review of the local and non-local effects on neuromuscular system

Willy Andrade Gomes¹, Charles Ricardo Lopes^{1,2}, Paulo Henrique Marchetti^{1,3}

RESUMO

A fadiga pode ser definida como uma redução progressiva da eficiência muscular em produzir força e potência por períodos prolongados, ocorrendo de forma periférica e/ou central. Diversos mecanismos e sistemas podem afetar a fadiga sendo esta considerada multifatorial. A fadiga pode acometer diferentes locais através de variados mecanismos, levando à redução do desempenho na atividade alvo, ou em atividades subsequentes. Curiosamente, o processo de fadiga pode envolver tanto o membro fadigado (fadiga local) como o membro não fadigado (fadiga não local). Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi realizar uma breve revisão de literatura sobre os efeitos de diferentes protocolos de fadiga neuromuscular local e não local no desempenho físico. Apesar de verificar inúmeros mecanismos relacionados à fadiga neuromuscular, fatores como o tipo de fibra muscular, o gênero, o protocolo experimental utilizado e o nível de condicionamento físico dos sujeitos avaliados podem influenciar nos efeitos da fadiga local e não local.

Palavras-Chave: desempenho; força; eletromiografia

ABSTRACT

The fatigue can be defined as a gradual reduction of muscular efficiency in producing strength and power for extended periods, and it may occur in a peripheral and / or central system. Several mechanisms and systems can be affected by fatigue, so it is considered multifactorial. Fatigue can affect different locations through a variety of mechanisms, leading to reduced the performance in the specific activity, or subsequent task. Interestingly, the process of fatigue may involve both the fatigued limb (local fatigue) or not fatigued limb (non-local fatigue). Thus, the aim of this study was to perform a brief review of the effects of neuromuscular fatigue protocols on physical performance. Several mechanisms are related to neuromuscular fatigue, however, factors such as the type of muscle fiber, the gender, the experimental protocol, or the fitness level may influence the effects of local and non-local fatigue.

Key-words: performance, strength; electromyography.

Autor de correspondência

Paulo H. Marchetti
Universidade Metodista de Piracicaba. Rod. do
Açúcar Km 156, Bloco 7, Sala 32, Taquaral.
13400-911 - Piracicaba, SP - Brasil

E-mail: pmarchetti@unimep.br

1 Grupo de Pesquisa em Performance Humana, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências do Movimento Humano, UNIMEP, Piracicaba, SP, Brasil.

2 Faculdade Adventista de Hortolândia, Hortolândia, SP, Brasil.

3 Instituto de Ortopedia e Traumatologia, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

A fadiga neuromuscular pode ser definida como uma redução progressiva da eficiência muscular em produzir força e potência por períodos prolongados, ocorrendo de forma periférica e/ou central ⁽¹⁾. A condição de fadiga pode ser considerada reversível, visto que a aplicação de intervalos de recuperação adequados resulta em recuperação parcial ou total do sistema neuromuscular ⁽²⁾.

A fadiga neuromuscular pode ocorrer devido ao acometimento de diferentes locais (centrais e periféricos) através de diversos mecanismos como o metabólico, o mecânico e o neural ⁽²⁻⁴⁾. A fadiga considerada periférica pode ser caracterizada pelos efeitos da atividade na sinapse neuromuscular e dentro dos grupamentos musculares, por outro lado, a fadiga central afeta os motoneurônios, a transmissão via medula espinal e encéfalo como proposto por Latash ⁽⁴⁾.

Quanto às alterações periféricas decorrentes da fadiga, pode-se considerar: (i) o aumento nas concentrações de ADP, Pi, AMP, Ca²⁺ e H⁺ o que pode comprometer a interação entre as pontes cruzadas. O acúmulo de H⁺ pode reduzir a capacidade de reabsorção do Ca²⁺ pelo retículo sarcoplasmático (RS), e assim, aumentando o tempo de relaxamento muscular após contrações fatigantes, já o Pi pode inibir a liberação de Ca²⁺ pelo RS; (ii) o aumento nas concentrações de magnésio (Mg²⁺), neutralizando a liberação do Ca²⁺ pelo RS; (iii) queda dos estoques de fosfocreatina e glicogênio

muscular, reduzindo as quantidades de substratos energéticos para a ressíntese imediata de ATP; (iv) redução da velocidade de condução e da amplitude dos potenciais de ação (acoplamento excitação/ contração) em decorrência do efluxo de potássio (K⁺) e (v) alterações no limiar de excitabilidade das fibras musculares para potenciais de ação (axônios motores) e atraso da fase de relaxamento após um abalo contrátil. Isso ocorre devido a remoção mais lenta de Ca²⁺ decorrente da redução das concentrações de ATP e das alterações no tempo em que as pontes cruzadas demoram para se desconectar após a remoção dos íons de Ca²⁺ ⁽⁵⁾.

Quanto às alterações de caráter central, essas podem ocorrer através de: (i) bloqueio de potenciais de ação nos locais de ramificação axonal, e conseqüentemente, inibindo a contração muscular (fenômeno ainda pouco estudado); (ii) indução do reflexo de mecanorreceptores de músculos aferentes (Ia e II do fuso muscular e Ib do órgão tendinoso de Golgi [OTG]), levando à atenuação da queda do desempenho do músculo agonista (fadigado); (iii) estimulação do nervos aferentes III e IV que podem reduzir a frequência de disparo do neurônio motor, além de inibir o output do córtex motor; (iv) alterações da excitação celular dentro do córtex motor durante atividades sustentadas; (v) redução na oferta de BCAA sanguíneo/cerebral com concomitante aumento das concentrações de serotonina (precursor da sensação de fadiga); (vi) liberação de interleucina 6 (IL-6) (precursor da sensação de fadiga) e (vii) redução do fluxo sanguíneo para

o cérebro, o que poderia levar a uma redução da nutrição cerebral e ao aumento da temperatura cerebral ⁽⁵⁾. Assim, entende-se que a fadiga apresenta característica multifatorial podendo acometer diferentes locais através de variados mecanismos, levando à redução do desempenho na atividade alvo, ou em atividades subsequentes. Curiosamente, o processo de fadiga pode envolver tanto o membro fadigado (membro ipsilateral) via sistema nervoso periférico, como também em atividades que envolvam o membro não fadigado (membro contralateral) via sistema nervoso central ^(6, 7), chegando à ser observado até mesmo em membros não homólogos como observado em estudo de Halperin et al., ⁽⁸⁾ que observaram queda no desempenho de membros inferiores (extensores de joelho) quando fadigaram membros superiores (extensores de cotovelo), entretanto, a fadiga muscular dos extensores de joelhos não afetou o desempenho dos extensores de cotovelo, o que pode sugerir que tais efeitos locais e/ou não locais possam ser também músculo-específico ^(8, 9).

Finalmente, além dos diferentes mecanismos e locais que podem levar à fadiga, ainda pode-se destacar outros fatores como o tipo de fibra muscular, gênero, tipo de protocolo de fadiga utilizado, nível de condicionamento físico dos sujeitos, dominância do membro, velocidade de contração muscular, e grupamento muscular envolvido. Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi realizar uma breve revisão de literatura sobre os efeitos de diferentes protocolos de fadiga

neuromuscular local e não local no desempenho físico.

2. METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado a partir de uma revisão bibliográfica. Para a elaboração do texto, foram selecionados artigos nacionais e internacionais retirados das bases de dados: Google Acadêmico, Medline, SciELO, PUBMED e Lilacs; os artigos e livros apresentados foram publicados entre os anos de 2001 e 2016 Os termos-chave utilizados foram: fadiga, fadiga neuromuscular, fadiga não local. Os termos foram utilizados em português e inglês, de forma individual e em combinações. Os artigos foram tabelados pela ordem da data de publicação, além da exclusão de trabalhos de conclusão de curso (TCC, Dissertações e Teses).

3. REVISÃO DE LITERATURA

O sistema nervoso (SN) pode ser dividido em sistema nervoso central (SNC) e sistema nervoso periférico (SNP) ⁽⁴⁾. Desta forma, a fadiga do SN pode ser classificada em central e periférica.

3.1. Características da fadiga central

A fadiga central pode ser definida como a perda da força ou da potência de contração, causado por processos proximais a junção neuromuscular ⁽¹⁰⁾ decorrente de alterações nos

nos motoneurônios alfa, na transmissão via medula espinal e no encéfalo ⁽⁴⁾.

A estimulação do córtex motor via estimulação elétrica e magnética vem sendo utilizada para avaliar o efeito da fadiga sob o SNC ^(11,12). De forma geral, o córtex motor é estimulado elétrica ou magneticamente ativando o SNC, a resposta do estímulo induzido é avaliado no local específico onde ocorrerá a resposta elétrica, o que possibilita diferenciar a origem dos déficits de força (via fadiga central ou periférica) ⁽¹²⁾.

A técnica de interpolação via twitch consiste na aplicação de diversos estímulos elétricos em momentos específicos, que são aplicados a um nervo motor ou região específica durante a realização de contrações voluntárias máximas visando identificar indiretamente alterações no comando do SNC e a ocorrência de fadiga ^(11,12). Quando a eficiência na condução de estímulos via SNC é ótima (> 70% da Contração Voluntária Máxima [CVM]), a aplicação de estímulos elétricos não apresentará alterações na capacidade de ativação muscular. No entanto, se a capacidade do SNC em enviar estímulos para a contração muscular estiver comprometida (submáxima < 60% da CVM), a aplicação de estímulos elétricos resultará em um aumento da

ativação muscular ⁽¹⁾.

De alguma forma, a sensação de esforço produzida durante uma contração voluntária sustentada, reflete na intensidade dos comandos emitidos pelo córtex motor. Ou seja, trata-se de processos internos do SNC e não de mensagens recebidas de vias aferentes sensoriais periféricas ⁽¹⁰⁾. Além disso, a contração muscular voluntária aumenta o consumo das cadeias ramificadas de aminoácidos (leucina, isoleucina e valina [BCAA]), o que reduz sua concentração em nível sanguíneo e cerebral. Conseqüentemente, a redução dos níveis de BCCA sanguíneo aumentam as concentrações de triptofano em nível cerebral visto que ambos utilizam o mesmo transportador para o cérebro ⁽¹⁰⁾. Sendo o triptofano um precursor da serotonina, o aumento em suas concentrações em nível cerebral, potencializam os efeitos de transmissão serotoninérgica, resultando em um aumento da sensação de fadiga (similar a sensação de sono) ⁽¹⁰⁾.

Durante o exercício físico, cerca de 20 a 25% de toda energia produzida é convertida em trabalho mecânico, o restante é convertido em calor ⁽¹⁰⁾, resultando em um aumento da temperatura corporal interna ⁽⁵⁾.

Temperaturas acima de 40° podem afetar o SNC, induzindo a uma inibição do córtex motor (mecanismo ainda desconhecido), isto pode resultar em uma incapacidade de manter a carga de trabalho muscular reduzindo o desempenho. Supõe-se que os centros de termorregulação do hipotálamo desempenham um papel central neste processo ⁽¹⁰⁾. Além disso, durante o exercício físico o sistema cardiovascular é estressado, o que por sua vez pode limitar o fluxo de sangue para o cérebro, resultando em uma redução da nutrição cerebral, e a um aumento da temperatura cerebral. É possível ainda, que o aumento da temperatura cerebral possa induzir a sensação de cansaço e esforço durante o exercício físico ⁽¹⁰⁾.

Portanto, é possível que atividades extenuantes bem como uma deficiência no sistema de termorregulação corporal possam resultar em um aumento significativo da temperatura corporal comprometendo o desempenho físico.

3.1.1. Modelos de controle da tarefa:

Diferentes modelos são citados como responsáveis pelo controle e manutenção da contração muscular em atividades extenuantes, sendo eles: o sistema teleoantecipatório (STA), o modelo de regulação central (MRC) e o modelo de falha catastrófica (MFC) ⁽¹⁰⁾.

a. Sistema Teleoantecipatório (STA): pode ser descrito como um sistema capaz de prever o consumo energético necessário para a realização de uma tarefa específica. A princípio acredita-se que o STA possui um sistema avançado de alimentação

que estima a taxa metabólica do exercício por unidade de tempo. Assim, os circuitos de controle de feedback comparam a taxa metabólica real com a taxa metabólica estimada. No entanto, acredita-se que a taxa metabólica estimada seja calculada a partir de atividades realizadas anteriormente (exercícios anteriores) ou até mesmo seja adquirido de forma congênita ⁽¹⁰⁾.

b. Modelo Central de Regulação (MCR): similar ao STA, o MCR sugere que o ser humano é capaz de prever a necessidade da realização de trabalho e assim elaborar um “plano de ação” mais eficiente. É provável que a capacidade de previsão das necessidades da tarefa ocorra no telencéfalo, e por isso, entende-se que o MRC seja uma função dos centros superiores do SNC. Em teoria, o MRC é o responsável por administrar a capacidade total do organismo em produzir trabalho e prever as necessidades da tarefa através das informações sensoriais do exercício (feedback de informação), promovendo desta maneira um estado de equilíbrio. Portanto, entende-se que a manutenção da atividade por períodos prolongados esteja diretamente relacionado ao “volume de trabalho estimado” e ao “volume de trabalho realizado”. Desta forma, é sugerido que o MRC explique todas as formas de exaustão durante o exercício ⁽¹⁰⁾.

c. Modelo de falha catastrófica (MFC): o MFC consiste na idéia de que o exercício será interrompido caso um ou

mais sistemas corporais sejam estressados além de suas capacidades. O MFC refuta o conceito de que o MCR explique todas as formas de exaustão durante o exercício visto que o acúmulo de metabólitos decorrentes do processo de fadiga possa reduzir o desempenho. No entanto, ainda não é claro até que ponto a queda do desempenho possa ser influenciada por processos intramusculares⁽¹⁰⁾.

3.2. Características da fadiga periférica

A fadiga periférica pode ser definida como a perda da capacidade contrátil em produzir força ou potência em regiões distais à junção neuromuscular⁽¹⁰⁾, decorrente de alterações da atividade sináptica neuromuscular e dos grupamentos musculares, ou seja, no tecido muscular⁽⁴⁾.

A queda da capacidade de produção de força muscular decorrente da fadiga periférica ocorre principalmente devido às alterações nos níveis de íons intracelulares o que pode afetar a excitabilidade da membrana⁽⁵⁾. Diversos métodos diretos e indiretos podem ser utilizados para mensurar as alterações que ocorrem no tecido muscular que caracterizam a instauração da fadiga. Destes, destacam-se a avaliação da capacidade de produção de força e da atividade muscular.

3.2.1. Produção de força e indicadores de fadiga periférica: Alterações na

capacidade de produzir força podem ser verificadas através de um transdutor de força (dinamômetro), a partir da comparação de testes realizados antes e após diferentes protocolos de indução a fadiga⁽¹²⁾. Marchetti e Uchida⁽⁶⁾ avaliaram de forma indireta o efeito de um protocolo de fadiga unilateral em membros inferiores (dominante e não dominante) no desempenho de saltos verticais por meio de uma plataforma de força. O protocolo de fadiga consistiu na realização de duas séries a 40% de 1RM no equipamento leg press de forma unilateral, até a falha concêntrica. Testes para avaliar a altura de salto (unipodal) foram realizados antes e após a realização do protocolo de fadiga, e os resultados mostraram que a altura dos saltos unipodais, após o protocolo de fadiga, foi significativamente menor quando comparado ao momento pré (dominante, 28,9% e não dominante, 31%). Portanto, concluiu-se que o protocolo de fadiga unilateral utilizado foi eficiente na indução da fadiga do membro contralateral, caracterizada pela queda do desempenho em saltos verticais. No entanto, métodos diretos apresentam maior precisão quanto aos efeitos da fadiga neuromuscular. A comparação entre testes de contração voluntária máxima isométrica (CVMI) somadas a estímulos elétricos aplicados sob o nervo de um músculo específico apresentam informações mais precisas quanto à avaliação da fadiga neuromuscular^(11, 12).

De acordo com Zwarts et al.,⁽¹²⁾ a indução de estímulos elétricos antes e após atividades fáticas apresentam informações mais precisas quanto ao efeito da atividade realizada sob desempenho físico que pode ser caracterizado pelo declínio linear da produção de força e pelo atraso na fase de relaxamento muscular.

Por outro lado, apesar da estimulação elétrica apresentar informações importantes quanto à indução ou não da fadiga neuromuscular, os estímulos elétricos aplicados à pele podem gerar sensações de dor, entretanto, a estimulação magnética apresenta as mesmas possibilidades de avaliação da fadiga neuromuscular, com a vantagem de não induzir dor⁽¹¹⁾.

3.2.2. Atividade muscular e indicadores de fadiga periférica: A atividade muscular também pode ser avaliada por meio de diferentes análises através da eletromiografia de superfície (sEMG), sendo invasivo ou não invasivo (de superfície)^(4, 13). De forma geral, a sEMG é uma técnica que tem como objetivo captar a somatória dos potenciais de ação no sarcolema em voltagem em função do tempo, o que possibilita avaliar a atividade muscular durante diferentes condições experimentais^(12, 13). As principais características avaliadas pela sEMG referentes à instauração da fadiga neuromuscular são: a redução da frequência de disparo das unidades motoras e o aumento da amplitude do sinal EMG (através da integral do sinal EMG [IEMG])⁽¹⁴⁾. Entretanto, deve ficar claro que essas mudanças podem ser altera-

das em função do tipo de atividade (intermitente ou contínua), e principalmente da intensidade da contração (máxima ou submáxima).

Por exemplo, durante contrações submáximas o sinal EMG pode aumentar consideravelmente em função do recrutamento de unidades motoras adicionais e do aumento na frequência de disparo. Isso ocorre na tentativa de garantir a manutenção da produção de força durante contrações sustentadas. Por outro lado, durante contrações máximas a amplitude do sinal sEMG e a frequência de disparo tendem a reduzir⁽¹²⁾.

3.3. Efeitos da fadiga local no sistema neuromuscular

Quando um grupo muscular específico é exposto a atividades extenuantes por períodos prolongados, é esperado que o mesmo (membro ipsilateral) apresente queda de desempenho em atividades subsequentes⁽⁶⁾^(15, 16). A esse fenômeno, dá-se o nome de fadiga local. Diversos fatores podem contribuir para a queda do desempenho em decorrência da instauração da fadiga local⁽⁵⁾. Desta forma, serão revisados os principais mecanismos que podem ser afetados, além de suas contribuições para a redução do desempenho em diferentes condições experimentais.

3.3.1. Implicações da fadiga muscular no complexo actina/miosina: Toda CVM depende da utilização da energia liberada através da hidrólise (quebra) das moléculas de adenosina trifosfato (ATP), o que resulta em um aumento da

produção de adenosina difosfato (ADP), fosfato inorgânico (Pi) e íons H⁺ ⁽¹⁰⁾, assim, toda contração muscular está associada a um aumento da produção de ADP, Pi e H⁺ ⁽⁵⁾. Para que a contração muscular seja sustentada de acordo com as necessidades da tarefa, a produção de ATP deve ser constante. Para isso diversas vias energéticas são utilizadas, como a da via fosfagênica (PCr), da glicólise (aeróbia e anaeróbia) e do metabolismo dos ácidos graxos ⁽⁵⁾. Porém, quando o ATP é resintetizado via glicólise anaeróbia, ocorre um aumento da produção de íons de hidrogênio (H⁺) com uma concomitante redução do pH intra e extracelular ⁽⁵⁾. Desta forma, o aumento das concentrações desses três metabólitos (ADP, Pi e H⁺) estão altamente relacionados a intensidade e duração da contração muscular, e podem influenciar de forma direta na eficiência das interações (acoplamento e desacoplamento) entre as pontes cruzadas do complexo actina/miosina.

Contrações musculares realizadas por períodos prolongados podem alterar a capacidade contrátil do músculo. De forma geral, a indução da fadiga muscular pode resultar em uma redução da amplitude dos potenciais de ação da unidade motora (UM) decorrente de alterações nas concentrações de sódio e potássio e também por uma redução da velocidade de propagação dos potenciais de ação ao longo do sarcolema ⁽⁵⁾.

Essas alterações podem ser observadas durante a captação do sinal EMG pela redução do espectro de potência (análise de frequências), o que pode ser interpretado como um sinal de fadiga. No entanto, fatores como o grau de sincronização dos diversos

potenciais de ação das fibras musculares e a EMG integrada (IEMG) também podem influenciar no sinal EMG ⁽¹⁰⁾. Adicionalmente, é possível verificar um aumento do sinal da IEMG durante exercícios intermitentes em contrações isométricas submáximas, possivelmente devido ao aumento da frequência de descarga do neurônio motor e o aumento do pool de neurônios motores recrutados ⁽¹⁰⁾.

3.3.2. Efeitos da fadiga local em diferentes tipos de fibra muscular:

Em um único músculo é possível verificar fibras musculares e unidades motoras com diferentes propriedades bioquímicas e fisiológicas que variam de acordo com a velocidade de contração, capacidade de produzir força e de resistir à fadiga ⁽⁵⁾. Durante a contração muscular isométrica as fibras do tipo II tendem a apresentar maior redução na produção de força do que as fibras do tipo I. Por outro lado, a velocidade de contração das fibras do tipo I são mais susceptíveis ao acúmulo de Pi do que as do tipo II. É provável, que tal redução na produção de força durante contrações musculares isométricas ocorra devido a uma redução da frequência de disparo do neurônio motor. Resultando em uma redução da velocidade de descarga das UM, garantindo a manutenção da contração muscular sustentada com baixo dispêndio energético ⁽⁵⁾. Desta forma, os diferentes tipos de fibras musculares encontrados em um mesmo músculo possibilitam uma alternância no recrutamento de UM resultando em uma maior capacidade de resistir à fadiga.

3.3.3. Efeitos da fadiga local entre

gêneros: Diversos estudos verificaram diferenças entre gêneros quanto à resistência a fadiga em ações isométricas ^(17,18) e dinâmicas ⁽⁹⁾, dependentes tanto da velocidade de contração quanto do grupo muscular avaliado ⁽⁹⁾. Em estudo de revisão Hicks et al., ⁽¹⁷⁾ verificou diversos estudos que compararam os efeitos da fadiga entre gêneros. Os estudos verificaram que o gênero feminino apresenta maior resistência à fadiga quando comparado ao gênero masculino em diversos grupos musculares (extensores de joelho, flexores de cotovelo, flexores dos dedos e adutor do polegar) principalmente em contrações musculares submáximas (20 a 70% da CVM). Adicionalmente, em estudo de revisão Hunter ⁽¹⁹⁾ observou maior resistência à fadiga dos músculos do core em mulheres quando comparados aos homens. Em contra partida, a magnitude da resistência à fadiga identificada no gênero feminino parece reduzir com o aumento da intensidade, como verificado em estudos que utilizaram 80% da CVMI de extensores de joelhos e entre 80 e 90% de 1RM para flexores de cotovelo ⁽¹⁸⁾, ou mesmo em CVMs intermitentes do adutor do polegar ⁽¹⁷⁾. Assim, concluiu-se que a fadiga muscular é gênero específica ⁽¹⁹⁾. Adicionalmente, Martin e Rattey ⁽¹⁵⁾ avaliaram o efeito da fadiga muscular local de membros inferiores no desempenho de homens e mulheres. Participaram do estudo 16 adultos jovens, hígidos (8 homens e 8 mulheres). O efeito da fadiga local, entre gêneros, foi comparado

através da força pico (FP) e da atividade muscular (vasto lateral) (EMG) dos extensores de joelhos (membro dominante) antes, durante e após uma contração voluntária máxima (CVMI) sustentada por 100 segundos (CVMI-100). O protocolo experimental consistiu na realização de 2 CVMIs (1 a 2 segundos [s.]) por 30 s. de intervalo, seguido de 20 s. de repouso com a aplicação de 6 estímulos elétricos supramáximos (0,25Hz) sob o nervo femoral. Em seguida, os sujeitos foram orientados a realizar 4 CVMIs de 1 a 2 s. por 30 s. de intervalo. Durante a realização das 4 CVMIs foram aplicados estímulos elétricos no nervo femoral. Então, após a realização da 4ª CVMI, os sujeitos foram orientados a realizar uma CVMI por 100 s. seguido de um intervalo de 20 seg. com a aplicação de 6 estímulos elétricos supramáximos (0,25Hz) sob o nervo femoral. Em seguida, os sujeitos foram orientados novamente a realizar 4 CVMIs de 1 a 2 s por 30 s. de intervalo com a aplicação de estímulos elétricos no nervo femoral. Os resultados mostram que para o membro dominante, ambos os gêneros apresentaram redução do desempenho após a CVMI sustentada por 100 s. No entanto, os homens apresentaram maior queda do desempenho do que as mulheres (força: ~24% e ~16 % e ativação muscular ~22% e ~9 %). Concluindo que o SN de homens e mulheres se adapta de maneira distinta às alterações associadas à fadiga. É provável que a baixa demanda no consumo de oxigênio, a menor compressão mecânica vascular, e a menor dependência do sistema glicolítico durante

atividades extenuantes, verificada no gênero feminino, sejam responsáveis pela redução do comprometimento do sistema neuromuscular principalmente em membros inferiores ^(17, 19). Assim, entende-se que os mecanismos contráteis responsáveis pelas alterações verificadas entre gêneros ocorram em nível periférico, não existindo evidências de que haja diferença entre gêneros em nível central ⁽⁹⁾.

3.3.4. Efeito da informação de desempenho

da CVM na fadiga neuromuscular: O estudo de Halperin et al., ⁽¹⁶⁾ avaliou o efeito da informação sobre o número de repetições (CVM), em sujeitos do sexo masculino, poderia afetar a força e a ativação muscular em protocolos de fadiga semelhantes avaliados através de uma célula de carga e um eletromiógrafo. Participaram do estudo 30 sujeitos do sexo masculino treinados em força, e 3 condições experimentais de fadiga foram realizadas de forma aleatória. Para a condição controle, os sujeitos foram orientados a realizar 12 CVMs, na condição desconhecida, os sujeitos não foram informados do número de CVM deveriam ser realizadas, completando as 12 CVM e na condição engano, os sujeitos foram orientados a realizar 6 CVM, sendo

que após a sexta CVM, os mesmos foram orientados a continuar até realizar as 12 CVM. Os resultados mostraram que quando realizada a condição engano os sujeitos demonstraram maior produção de força e maior atividade EMG para o bíceps braquial quando comparado a condição desconhecida durante as 6 primeiras CVM. Além disso, em todas as condições os sujeitos produziram mais força na última repetição (# 12) em relação à anterior (# 11). Para a EMG foi verificado maior ativação muscular do bíceps braquial para a condição engano nas primeiras 6 CVM quando comparado as condições desconhecida e controle. Concluindo que fornecer informações incorretas quanto ao número de repetições a serem realizadas, pode aumentar o desempenho, quando comparado a estratégias que pré-estabeleçam um número fixo de repetições a serem realizadas. Em estudo complementar, Halperin et al., ⁽²⁰⁾ avaliaram o mesmo protocolo experimental em mulheres (n=20). Foi utilizado um dinamômetro para avaliar a força dos flexores e extensores de cotovelo e eletromiografia de superfície para avaliar a ativação muscular da cabeça longa do bíceps braquial e da cabeça lateral do tríceps braquial. As mesmas condições foram utilizadas, e os resultados mostraram que durante as primeiras 6 CVM a força foi maior na condição engano do que nas condições desconhecida e controle.

Concluindo que fornecer informações incorretas quanto ao número de repetições a serem realizadas, pode aumentar o desempenho, quando comparado a estratégias que pré-estabeleçam um número fixo de repetições a serem realizadas. Em estudo complementar, Halperin et al.,⁽²⁰⁾ avaliaram o mesmo protocolo experimental em mulheres (n=20). Foi utilizado um dinamômetro para avaliar a força dos flexores e extensores de cotovelo e eletromiografia de superfície para avaliar a ativação muscular da cabeça longa do bíceps braquial e da cabeça lateral do tríceps braquial. As mesmas condições foram utilizadas, e os resultados mostraram que durante as primeiras 6 CVM a força foi maior na condição engano do que nas condições desconhecida e controle. No entanto, não foi verificada diferença significativa entre condições para as últimas 6 CVM. Já, entre as repetições foi verificada redução da força durante as primeiras 6 CVM e as últimas 6 CVM. Para EMG de bíceps e tríceps, não foi verificada diferença significativa entre as condições. No entanto, a EMG reduziu durante as primeiras 6 CVMs para os músculos bíceps braquial e tríceps braquial em todas as condições. Para as últimas 6 CVM não foi verificada diferença significativa, concluindo que fornecer informações incorretas

quanto ao número de repetições a serem realizadas pode aumentar o desempenho, quando comparado a estratégias que pré-estabeleçam um número fixo de repetições. Assim, é provável que o conhecimento da tarefa à ser realizada previamente, pode afetar a forma como o sistema administra a produção de força visando poupar energia, independente do gênero dos sujeitos avaliados.

3.3.5 Efeito do tempo de duração do protocolo

de fadiga: O estudo de Froyd et al.,⁽²¹⁾ avaliaram os efeitos da duração do protocolo de fadiga no desempenho dos extensores do joelho direito (EJ) em nível central e periférico. Participaram do estudo 12 sujeitos saudáveis (11 homens e 1 mulher) treinados em força e resistência. O protocolo experimental consistiu na realização de três condições de fadiga (CF) para extensores de joelho, que variaram de acordo com o tempo de execução (3, 10 e 40 min.) e o número de contrações voluntárias máximas concêntricas (CVMCON) realizadas. Sendo que para a CF1 foram realizadas 4 séries de 15 CVMCON durante 3 min., já para aCF2 foram realizadas 16 séries de 15 CVMCON durante 10 min. e para a CF3 foram realizadas 64 séries de 15 CVMCON durante 40 min.

Para a avaliação da função neuromuscular nos momentos pré e após cada CF, foram realizadas cinco CVM concêntricas (CVMCON) seguidas de uma sequência de 3 estimulações elétricas (EE): EE única (EEU), EE dupla a 100Hz (EE100) e EE dupla a 10Hz (EE10) sob o nervo femoral, durante 2s., com os EJ relaxados. Então, após 2 min. de intervalo, foram realizadas três CVMI de 4s. por 1 min. de intervalo (4s./1min.), seguido de mais três EE. Então, após 1 min. de intervalo, foram realizadas novamente mais três CVMI (4s./1min.), desta vez, somadas à EE100. Os dados EMG de VL e VM foram apresentados como a média dos dados, representando desta forma um único valor e a amplitude da onda-M pico a pico em resposta ao EEU também foram analisadas. O índice de fadiga de baixa frequência (IFBF) foi calculado através da seguinte fórmula: $EE10 \cdot EE100 - 1$. Os dados referentes à ativação muscular (EMG/RMS) do vasto lateral (VL) e do vasto medial (VM) e a força pico (FP) dos extensores de joelho foram avaliados através de um eletromiógrafo e um dinamômetro, respectivamente. Os resultados mostram que independente da CF utilizada (CF1; CF2 e CF3), foi verificado uma redução significativa da FP entre os momentos pré e pós CF, tanto para a CVMI (68%; 64% e 66%), quanto para a CVMCON (67%, 68% e 70%), respectivamente, caracterizando a instauração da fadiga neuromuscular. Quando analisado a ativação muscular durante a CVMI, apenas a CF3 apresentou redução (89%) da EMG/RMS entre os momentos pré e pós. Adicionalmente, a CF3 apresentou redução significativa da EMG/RMS quando comparado a CF1 (23,93%) e CF2 (17,59%), caracterizando a instauração da fadiga central. Para CVMCON não foi verificado diferença significativa. Quando analisada a FP produzida a partir da EE, para as diferentes CF (CF1, CF2 e CF3) foi verificada redução significativa entre os momentos pré e pós, tanto para EEU (45%, 45% e 42%) quanto para EE100 (63%, 62% e 58%) respectivamente. Adicionalmente, a FP produzida por EE100 durante a CF3 apresentou queda quando comparado a CF1 (7,94%). Quando analisado o IFBF entre os momentos pré e pós, foi verificada queda significativa de 68% para todas as CF (CF1, CF2 e CF3). E por fim, a onda-M apresentou redução significativa entre os momentos pré e pós para todas as CF (CF1 = 105%, CF2 = 93% e CF3 = 85%). Além disso, foi verificada diferença significativa para M-wave entre CF1 e CF3 (19%), entre CF1 e CF2 (11,4%) e entre CF2 e CF3

(8,6%) caracterizando a fadiga periférica. Desta forma, o estudo concluiu que o grau de fadiga periférica e central que contribui para a redução da força de um único membro sob contrações dinâmicas depende tanto da duração quanto da intensidade do exercício.

3.4. Efeitos da Fadiga não local no sistema neuromuscular

Diversos estudos verificaram a redução do desempenho neuromuscular de membros não exercitados (contralateral ou não homólogos) após diferentes protocolos de fadiga local aplicados ao membro ipsilateral ou não homólogo ⁽⁵⁾. A este fenômeno, dá-se o nome de fadiga não local. No entanto, os mecanismos responsáveis por tais alterações ainda não são totalmente esclarecidos ⁽²²⁾. Desta forma, serão revisados os possíveis mecanismos que podem afetar o desempenho não local em diferentes condições experimentais.

3.4.1. Mecanismos da fadiga muscular não local: Em estudo de revisão Halperin et al., ⁽²²⁾ investigou os possíveis mecanismos da fadiga neuromuscular não local (FMNL). Foram utilizados 35 estudos, totalizando 58 avaliações

das seguintes bases de dados: Web of Science, PubMed, e Google acadêmico. Os resultados mostram que dos 58 estudos que avaliaram os efeitos da FMNL, apenas 32 apresentaram diferenças significantes para variáveis de força, atividade muscular e efeitos psicológicos. Os efeitos da FMNL foram observados em 76% dos estudos em membros inferiores e apenas 32% em membros superiores. Assim, parece que os efeitos da FMNL possam ser músculo-dependentes. Adicionalmente, fatores como a indução da fadiga intensa, bem como o protocolo de fadiga utilizado, o nível de condicionamento físico e o gênero dos sujeitos foram apontados como fatores influenciadores da FMNL.

3.4.2. Efeitos da fadiga não local entre diferentes grupos musculares: Halperin et al., ⁽⁸⁾ avaliaram o efeito da FMNL entre músculos homólogos e não homólogos. Participaram do estudo 21 sujeitos treinados em força que foram divididos em 2 estudos distintos (estudo 1, n=11; estudo 2, n=10). O Experimento 1 consistiu da realização de 2 CVM dos extensores de joelho no membro não dominante, seguido de 100-s CVM para

os extensores de joelhos (membro dominante), ou flexores de cotovelos (membro dominante) ou repouso (condição controle). Então, entre e após as séries, uma única CVM foi realizada pelos extensores de joelhos descansados (membro não dominante). Em seguida, 12 CVM para extensores de joelhos (membro não dominante) foram realizadas. Foi avaliada a força voluntária (FV) e a atividade muscular via sEMG. Para o experimento 2 foi realizado o mesmo protocolo supracitado no experimento 1, no entanto, os flexores de cotovelo não dominantes não foram testados. Os resultados do primeiro estudo mostram que quando comparado ao grupo controle, os extensores de joelho do membro não dominante apresentaram uma redução significativa na FV e na sEMG em ambas as condições de fadiga. Além disso, foi observada uma queda em todas as variáveis analisadas entre a primeira CVM pós-intervenção e a última. Já para o segundo estudo não foram verificadas diferenças significantes entre as condições em nenhuma das variáveis analisadas. No entanto, todas as variáveis sofreram decréscimo quando comparado a primeira CVM pós-intervenção com a última. Concluindo que a fadiga muscular de grupos musculares independentes como os

extensores de cotovelo pode afetar negativamente o desempenho dos extensores de joelho, no entanto, a fadiga muscular dos extensores de joelhos não parece afetar o desempenho dos extensores de cotovelo. Sugerindo que os efeitos não locais são músculo-específicos, e podem interferir no treinamento e no desempenho.

3.4.3. Efeito da fadiga não local entre

gêneros: Apesar do efeito da fadiga sobre o desempenho ser muito estudado, apenas dois estudos compararam o efeito da fadiga não local entre gêneros⁽²²⁾. O estudo de Martin e Rattey⁽¹⁵⁾ avaliou o efeito da FMNL sobre o desempenho de 15 adultos jovens, hígidos (7 homens e 8 mulheres). Inicialmente foram realizadas 2 CVMI (~ 2s) por 30s de intervalo.

Em seguida, foram aplicados 6 estímulos elétricos supramáximos (0,25Hz) sob o nervo femoral (membro não dominante) durante 20 s com os extensores de joelho relaxados. Então, os sujeitos foram orientados a realizar 4 CVMI (~ 2s) concomitantes a estímulos elétricos aplicados sob o nervo femoral. Após 30s de intervalo, membro dominante foi exposto a um protocolo de fadiga que consistiu na realização de uma CVMI sustentada por 100s, (CVMI-100). Em

seguida, foram aplicados novamente 6 estímulos elétricos supramáximos (0,25Hz) sob o nervo femoral (membro não dominante) durante 20 s com os extensores de joelho relaxados. Então, os sujeitos foram orientados novamente a realizar 4 CVMI (~ 2s) concomitantes a estímulos elétricos aplicados sob o nervo femoral. Tanto a força pico (FP) quanto a atividade muscular (vasto lateral) do membro não dominante, foram avaliadas através de um dinamômetro e um eletromiógrafo de superfície respectivamente, antes e após o protocolo de fadiga.

Os resultados mostram que ambos os gêneros apresentaram redução do desempenho (membro não dominante) após a CVMI-100 do membro dominante. No entanto, os homens apresentaram maior queda da força do que para as mulheres (~9% e ~3%). Concluindo que a fadiga local aplicada ao membro inferior dominante afeta o SNC, reduzindo o desempenho do membro homólogo contralateral. Além disso, a fadiga central (efeito cruzado) parece ser mais pronunciada em homens do que em mulheres.

3.4.4. Efeito da fadiga muscular não local em diferentes níveis de condicionamento físico: A literatura é escassa quanto a estudos que

tenham avaliado o efeito da FMNL em sujeitos com diferentes níveis de condicionamento. A princípio, parece que quanto maior o nível de condicionamento físico, menor será o efeito da FMNL, como verificado por Triscott et al.,⁽²³⁾ que compararam o efeito da FMNL em sujeitos com diferentes níveis de condicionamento físico em flexores de cotovelo. Participaram do estudo 24 sujeitos saudáveis (21 homens e 3 mulheres). Os sujeitos foram divididos em grupos (sujeitos saudáveis [SS], treinados em resistência de força [RF] e treinados em força [TF]). Os sujeitos foram submetidos a duas sessões de fadiga, sendo que durante a primeira sessão foram realizadas flexões de cotovelo (membro não dominante) a uma cadência de 1,5s, e uma sobrecarga de 4,5kg até a falha mecânica. Em seguida, uma CVMI foi realizada em ambos os membros (dominante e não dominante) durante 1 minuto. Então, em ambos os membros foram aplicados potenciais evocados através da estimulação magnética transcraniana nos momentos 2, 5, 10, 20 e 30-min. após a CVMI. Para cada momento foram aplicados 10 estímulos alternados sobre a área do córtex motor de cada membro. Durante a segunda sessão, todos os sujeitos realizaram flexões de cotovelo (membro dominante) até exaustão

utilizando uma sobrecarga de 5,5kg, seguido de uma CVMI. Para ambas as sessões, a cadência para cada movimento foi de 1,5 segundos controlada por um metrônomo, a atividade muscular do bíceps braquial de ambos os membros foi avaliada através da eletromiografia de superfície e o tempo para a instauração da fadiga em cada membro foi cronometrado para posterior comparação. Os resultados mostram que a CVMI do membro contralateral não foi afetado para nenhum dos grupos (SS, RF e TF). No entanto, durante uma tarefa submáxima até a falha mecânica, tanto o grupo SS quanto TF apresentaram uma redução significativa no desempenho, enquanto que o grupo RF parece não ter sido afetado pelo protocolo de fadiga. Possivelmente, os sujeitos treinados em resistência de força acumulam menos subprodutos metabólicos, devido a sua menor dependência da via glicolítica, resultando em redução da inibição metaboloreceptora aferente via sistema nervoso. Assim, parece que o tipo de atividade praticada bem como o nível de condicionamento físico específico são fatores determinantes na capacidade de resistir à fadiga.

3.4.5. Efeito da fadiga muscular não local em diferentes intensidades: O estudo de Kawamoto

et al.,⁽²⁴⁾ comparou o efeito da intensidade sobre a FMNL de extensores do joelho e suas implicações na força e na atividade muscular. Participaram do estudo 12 sujeitos fisicamente ativos do sexo masculino, que realizaram 2 CVMI unilaterais de extensores de joelho (membro dominante e não dominante) durante 5 segundos por 2 minutos de intervalo. Então, foram realizadas três condições experimentais (divididas em três sessões). Condição controle (CON), onde os sujeitos permaneceram sentados por sete minutos sem nenhum tipo de intervenção; Condição de fadiga a 40% (FAD40%), onde foram realizadas 4 séries de extensões dinâmicas de joelho (membro dominante) a 40% da CVMD até a falha concêntrica; e condição de fadiga a 70% (FAD70%), onde foram realizadas 4 séries de extensões dinâmicas de joelho (membro dominante) a 70% da CVMD até a falha concêntrica. As condições experimentais foram aleatorizadas entre os sujeitos e um intervalo de 60 segundos entre séries foi utilizado. Imediatamente após a realização de cada protocolo de fadiga, uma CVMI de extensores de joelho (membro dominante) foi realizada para avaliar a extensão da fadiga. Em seguida, apenas para o membro não dominante, os sujeitos realizaram uma CVMI

(cinco segundos), seguido do teste de fadiga (FAD 70%) até a falha concêntrica. Tanto a força dos extensores de joelhos (força pico [FP] e força produzida nos primeiros 100 milissegundos [F100]) como a atividade muscular (vasto lateral [VL] e bíceps femoral [BF]) foram avaliados através de um dinamômetro e sEMG respectivamente, antes e após o protocolo experimental. Os resultados mostram que ambos os protocolos de fadiga (FAD40% e FAD70%) aplicados ao membro dominante reduziram o desempenho do membro contralateral tanto para F100 (23,7% e 34,6%, respectivamente), quanto para o tempo necessário para atingir a FP (4,4% e 7,1%, respectivamente). No entanto, não foi verificada diferença significativa na atividade muscular (VL e BF) para o membro contralateral. Conclui-se que ambos os protocolos dinâmicos de fadiga unilateral de extensores de joelhos, independente da intensidade utilizada, afetam o desempenho do membro contralateral. No entanto, observou-se que quanto maior a intensidade do protocolo experimental, maior será o tamanho do efeito (TE).

3.4.6. Efeito da fadiga não local ao longo do tempo: O estudo de Doix et al.,⁽⁷⁾ investigou o

tempo necessário para a instauração da FMNL em extensores de joelho. Quinze sujeitos jovens e treinados do gênero masculino realizaram um protocolo de fadiga que consistiu na realização de 2 CVMI de 100 segundos (2CVMI-100s) apenas para um dos membros inferiores (ipsilateral). Nos momentos pré, entre e após o protocolo de fadiga foram realizados avaliações neuromusculares para ambos os membros inferiores (ipsilateral [IPSI] e contralateral [CONT]), de forma aleatorizada. As avaliações neuromusculares consistiram na realização de 3 estímulos elétricos individuais sob o nervo femoral, seguidos de mais 3 estímulos elétricos duplos, por 5 segundos de intervalo entre os estímulos, com os membros inferiores em repouso. Então os sujeitos foram orientados a realizar 2 CVMI durante 4 segundos (separados por 2 minutos de intervalo). Durante e 4 segundos após as CVMIs um novo estímulo elétrico duplo foi aplicado sob o nervo femoral. Os dados de força dos extensores de joelhos e atividade muscular (vasto lateral, vasto medial, reto femoral e semitendíneo) foram coletados através de um dinamômetro e de um eletromiógrafo de superfície, respectivamente.

Os resultados mostram que para o membro IPSI o torque dos extensores de joelho

reduziu após a primeira CVMI-100s (-9,6%), sugerindo a ocorrência de fadiga periférica local. Já para o membro CONT, a redução do torque ocorreu após a segunda CVMI-100s (-10,6%) sugerindo a ocorrência de fadiga central. Para ativação muscular, foi verificada redução do nível de ativação muscular voluntária dos extensores de joelho entre os momentos pré- e pós-protocolo de fadiga (-9,1%) reforçando a hipótese de uma fadiga central em ambos os membros (IPSI e CONT). O estudo concluiu que duas CVMI de 100 segundos em contração máxima dos extensores de joelhos são necessárias para induzir a fadiga no membro contralateral (não local). Além disso, o tempo para a instauração da fadiga entre os membros ocorreu em momentos diferentes. Assim, parece que a fadiga periférica do membro IPSI ocorreu através de adaptações intramusculares situadas além do sarcolema, enquanto, as vias reflexas espinhais cruzadas parecem ser o principal fator para a falha na ativação muscular voluntária em ambos os membros (IPSI e CONT).

3.4.7. Efeitos psicológicos da fadiga não local:

Em estudo de revisão Halperin et al.,⁽²²⁾ citam possíveis efeitos psicológicos desencadeados por atividades extenuantes que possam afetar o

desempenho do membro contralateral. Os autores verificaram que atividades mentalmente fatigantes podem aumentar a percepção subjetiva de esforço (PSE) durante a realização de atividades físicas subsequentes, principalmente as extenuantes. Além disso, atividades fisicamente fatigantes, desencadeiam alta demanda cognitiva decorrente da necessidade de resistir ao desconforto e garantir a manutenção do desempenho dentro dos padrões pré-estabelecidos pelo protocolo experimental. Assim, é possível que a alta demanda psicológica envolvida seja em atividades mentalmente ou fisicamente fatigantes possam reduzir o desempenho de atividades subsequentes.

4. CONCLUSÃO

Considerando os trabalhos revisados, podemos concluir que diversos fatores podem contribuir para a instauração da fadiga neuromuscular. Quanto aos mecanismos relacionados à instauração da fadiga local verificamos o aumento das concentrações de íons intracelulares, a queda dos estoques de glicogênio muscular, a redução da velocidade de condução e da amplitude dos potenciais de ação (acoplamento excitação/contração), alterações no limiar de excitabilidade das fibras musculares

e atraso da fase de relaxamento após um abalo contrátil. Como resultado dessas alterações é possível observar uma queda da capacidade de produção de força muscular, além de uma redução da frequência de disparo do neurônio motor e um aumento da amplitude do sinal EMG. Quanto aos mecanismos relacionados à instauração da fadiga não local verificamos a inibição dos potenciais de ação, indução da ação reflexa de mecanorreceptores de músculos aferentes, redução da frequência de disparo das unidades motoras, alteração na excitabilidade do córtex motor, aumento das concentrações de IL-6 e redução da oferta de BCAA e fluxo sanguíneo cerebral. Como resultado dessas alterações é possível observar uma queda da capacidade do SNC em enviar estímulos para a contração muscular. Apesar de verificar inúmeros mecanismos relacionados à fadiga neuromuscular, fatores como o tipo de fibra muscular, o gênero, o protocolo experimental utilizado e o nível de condicionamento físico dos sujeitos avaliados podem influenciar nos efeitos da fadiga local (membro ipsilateral) e não local (membro contralateral ou homólogo).

REFERENCIAS

1. Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*. 2001;81(4):1725–89.
2. Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev*. 2008;88:287-332.
3. Ament W, Verkerke GJ. Exercise and fatigue. *Sports Medicine*. 2009;39(5):389-422.
4. Latash ML. Base neurofisiológica do movimento. 2, editor. São Paulo: Phorte; 2015. 472 p.
5. Marchetti PH, Uchida MC. Influence of unilateral fatigue of lower limbs on the bilateral vertical jump. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2011;17(6):401-4. Marchetti PH, Uchida MC. Influence of unilateral fatigue of lower limbs on the bilateral vertical jump. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2011;17(6):401-4.
7. Doix AM, Lefevre F, Colson SS. Time course of the cross-over effect of fatigue on the contralateral muscle after unilateral exercise. *Plos one*. 2013;8(5):1-8.
8. Halperin I, Copithorne D, Behm DG. Unilateral isometric muscle fatigue decreases force production and activation of contralateral knee extensors but not elbow flexors. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2014; 39:1–7.
9. Hunter SK. Sex differences in fatigability of dynamic contractions. *Experimental Physiology*. 2015;0(0):1-6.
10. Ament W, Verkerke GJ. Exercise and fatigue. *Sports Medicine*. 2009;39(5):389-422.
11. Marchetti PH, Dal Corso S. Técnicas de estimulação neuromuscular para avaliação de déficits de força: uma breve revisão. *Terapia Manual*. 2012;10(47):123-8.
12. Zwarts MJ, Bleijenberg G, Van Engelen BGM. Clinical neurophysiology of fatigue. *Clinical Neurophysiology*. 2008;119:2–10.
13. Marchetti PH, Duarte M. Eletromiografia: uma breve revisão sobre os procedimentos de aquisição do sinal. *Terapia manual*. 2011;9(44):548-53.
14. De Luca CJ. The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*. 2003;13(2):135-63.
15. Martin PG, Rattey J. Central fatigue explains sex differences in muscle fatigue and contralateral cross-over effects of maximal contractions. *European Journal of Applied Physiology*. 2007;454:957–69.
16. Halperin I, Aboodarda SJ, Basset FA, Byrne JM, Behm DG. Pacing strategies during repeated maximal voluntary contractions. *European Journal of Applied Physiology*. 2014;1-8.

17. Hicks AL, Kent-Braun J, Ditor DS. Sex differences in human skeletal muscle fatigue. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2001;29(3):109-12.
18. Maughan RJ, Harmon M, Leiper JB, Sale D, Delman A. Endurance capacity of untrained males and females in isometric and dynamic muscular contractions. *European Journal of Applied Physiology*. 1986;55:395-400
19. Hunter SK. Sex differences and mechanisms of task-specific muscle fatigue. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2009;37(3):113-22.
20. Halperin I, Aboodarda SJ, Basset FA, Behm DG. Knowledge of repetitions range affects force production in trained females. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2014;13:736-41.
21. Froyd C, Beltrami FG, Millet GY, Noakes TD. Central regulation and neuromuscular fatigue during exercise of different durations. 2016.
22. Halperin I, Chapman DW, Behm DG. Non-local muscle fatigue: effects and possible mechanisms. 2015.
23. Triscott S, Gordon J, Kuppuswamy A, King N, Davey N, Ellaway PH. Differential effects of endurance and resistance training on central fatigue. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2008;26(9):941-51.
24. Kawamoto J, Aboodarda SJ, Behm DG. Effect of differing intensities of fatiguing dynamic contractions on contralateral homologous muscle performance. *Journal of Sports Science and Medicine* 2014;13:836-45.