

**INFLUÊNCIA DA FADIGA MUSCULAR NO RETARDO ELETROMECAÂNICO:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**Moisés Costa do Couto¹Georges Willeneuve de Sousa Oliveira¹**RESUMO**

O retardo eletromecânico (REM) é a latência entre o estímulo nervoso e o início da mobilização articular, sua duração está relacionada ao aparecimento de lesões. Embora seja muito estudada, ainda não há estudos de revisão que confirmem a provável relação entre a fadiga muscular e o REM. O objetivo dessa revisão é verificar a influência da fadiga muscular no retardo eletromecânico durante contrações voluntárias de indivíduos saudáveis. Para isto, buscou-se estudos nas seguintes bases de dados: MEDLINE via PUBMED, LILACS, CINAHL, SCOPUS e WEB OF SCIENCE, utilizando os descritores "electromechanical delay AND muscle fatigue". Foram selecionados estudos experimentais que analisaram a influência da fadiga muscular no retardado eletromecânico, não houve restrição quanto ao gênero ou idade dos avaliados, nem quanto ao músculo avaliado. Os resultados mostraram que a grande maioria das amostras era composta por jovens de ambos os sexos com até trinta anos. A contração isométrica do músculo quadríceps foi o principal método utilizado para avaliar o REM devido à grande predisposição da articulação do joelho à lesões. Dos dezoito estudos, quinze apresentaram aumento do REM após o protocolo de fadiga muscular. Isto acontece pela influência da fadiga nos mecanismos fisiológicos que causam o REM como, por exemplo, a perda de tensão dos componentes elásticos em séries e o atraso no acoplamento excitação-contração. Em conclusão, fica evidenciado que a fadiga muscular aumenta a latência do retardo eletromecânico durante contrações musculares voluntárias em indivíduos saudáveis de ambos os sexos.

Palavras-chave: Eletromiografia. Músculo Esquelético. Acoplamento Excitação-Contração.

1-Departamento de Fisioterapia, Universidade Potiguar-UnP, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil.

ABSTRACT

Influence of muscle fatigue in electromechanical delay: a systematic review

The electromechanical delay (EMD) is the latency between the beginning of the nerve stimulation and mobilization of the joint, its duration is related the occurrence of injuries. Although well studied, there are no review studies that confirm the probable relation between muscle fatigue and EMD. The aim of this review is to verify the influence of muscle fatigue on electromechanical delay during voluntary contractions in healthy subjects. Studies was searched the following databases: MEDLINE, through PUBMED, LILACS, CINAHL, SCOPUS and WEB OF SCIENCE using the keywords "electromechanical delay AND muscle fatigue". Experimental studies that examined the influence of muscle fatigue in electromechanical retarded were selected, there was no restriction on the age, gender or muscle. The results showed that most of the samples consisted of young people of both sexes until thirty years. The isometric contraction of the quadriceps muscle was the main method used to assess EMD, due to the great predisposition of knee to injuries. Of the nineteen studies, fifteen showed EMD increased after muscle fatigue protocol. This occurs by the influence of fatigue in the physiological mechanisms that cause EMD as, for example, the loss of tension of the elastic components in series and the delay in the excitation-contraction coupling. In conclusion, it is evident that muscle fatigue increases the latency of electromechanical delay during voluntary muscle contractions in healthy subjects of both sexes.

Key words: Electromyography. Skeletal Muscle. Excitation Contraction Coupling.

E-mails dos autores:
moisescouto@gmail.com
willeneuve@unp.br

INTRODUÇÃO

Após o estímulo nervoso que desencadeia a contração muscular, há um intervalo de tempo até que o movimento seja iniciado (Hall, 2009).

Embora possua diversas nomenclaturas, mais comumente, este período é denominado de Retardo Eletromecânico (REM) (do inglês "electromechanical delay"). Sua identificação é feita através da latência entre a atividade eletromiográfica e a força gerada pelo músculo, ou a mobilização articular (Granata e colaboradores, 2000; Blackburn e colaboradores, 2009).

O REM ocorre devido a uma série de eventos que acontecem após o comando nervoso eferente, são eles: o intervalo de tempo requerido para que haja a propagação do potencial de ação no interior da fibra muscular; o processo de acoplamento excitação-contração, isto é, a liberação de cálcio pelo retículo sarcoplasmático e a formação de pontes cruzadas pela actina e miosina; a tensão dos elementos ativos dos componentes elásticos em série (CES) e o tensionamento das estruturas passivas do CES, ou seja, a aponeurose e os tendões (Cavanagh; Komi, 1979; Nordez e colaboradores, 2009; Hamill e colaboradores, 2012).

Segundo Nordez e colaboradores (2009) as estruturas passivas do CES são responsáveis por até 47% do REM, sendo 20% para a aponeurose tensionar a junção miotendínea e 27% até que o tendão se alongue o necessário para mover o osso no qual está inserido.

A duração do REM varia consideravelmente entre os autores. A maior amplitude de tempo proposta é de 50 à 200ms (Hamill e colaboradores, 2012).

Tempo superior a este, pode acarretar em prejuízos da funcionalidade neuromuscular destes indivíduos, atrasando respostas musculares, o que altera a estabilidade articular dinâmica e conseqüentemente predispõe o aparecimento de lesões (Blackburn e colaboradores, 2009).

Alguns estudos relacionam atraso do REM com risco de lesões do ligamento cruzado anterior (Ayala e colaboradores, 2014; Hannah e colaboradores, 2014), entorse de tornozelo (Linford e colaboradores, 2006) e

risco de quedas em idosos (Laroche e colaboradores, 2010).

Diante disso, torna-se necessário estudar os fatores que exercem influência no REM, para melhor compreensão de suas características e adquirir embasamento científico para desenvolver estratégias que minimizem seus prejuízos.

Fatores como idade (Crozara e colaboradores, 2013), sexo (Ferreira; Vencesbrito, 2012), tipo de contração (Cavanagh; Komi, 1979), alongamento (Esposito e colaboradores, 2011), estado muscular prévio (Vint e colaboradores, 2001), treinamento muscular (Grosset e colaboradores, 2009), distúrbios patológicos (Granata e colaboradores, 2000) e fadiga muscular, têm sido estudados e parecem ter relação com o tempo do REM.

Dentre estes, a fadiga tem tido grande destaque pelo grande número de trabalhos.

A fadiga muscular ocorre quando o desempenho muscular diminui durante a atividade física (Silva e colaboradores, 2006).

Este fenômeno é representado pela redução na capacidade gerar força, distúrbios nas propriedades elétricas neuromusculares e alterações nas características contráteis do músculo, como o acoplamento excitação-contração (Kirkendal, 1990; Sales e colaboradores, 2005), o que pode influenciar diretamente no tempo de duração do REM.

No entanto, não há estudos de revisão que confirmem o efeito da fadiga muscular no REM.

Diante disso, o objetivo dessa revisão sistemática é verificar a influência da fadiga muscular no retardo eletromecânico durante contrações musculares voluntárias de indivíduos saudáveis, descrever os métodos utilizados pelos trabalhos e identificar as diferenças e semelhanças entre eles.

MATERIAIS E MÉTODOS**Estratégia de busca**

Foram pesquisados artigos científicos nas bases de dados MEDLINE via PUBMED, LILACS, CINAHL, SCOPUS e WEB OF SCIENCE sem restrição de língua ou ano de publicação.

Foram usados os termos de busca: "electromechanical delay and muscle fatigue"

Seleção dos estudos

Foram selecionados estudos experimentais que analisaram a influência da fadiga muscular no retardado eletromecânico. Não houve restrição quanto ao gênero ou idade dos sujeitos avaliados, nem quanto ao músculo avaliado.

Foram descartados os estudos que avaliaram o REM apenas durante a fase de relaxamento, isto é, o tempo entre o fim do estímulo nervoso detectado pela eletromiografia e a queda da força produzida.

Não foram analisados, também, estudos que avaliaram indivíduos que portassem qualquer tipo de distúrbio neurológico ou histórico de lesão

osteomioarticulares, nem aqueles que avaliaram o REM somente através de contração estimulada, seja por eletroestimulação ou reflexo do tendão patelar. Também foram desconsiderados trabalhos que utilizaram animais como amostra.

RESULTADOS

Foram encontrados 152 artigos em todas as bases de buscas utilizadas. Desconsiderando os artigos repetidos, um total de dezenove estudos estava de acordo com os critérios de elegibilidade estabelecidos e foram analisados nesta revisão. A Figura 1 mostra o procedimento de busca.

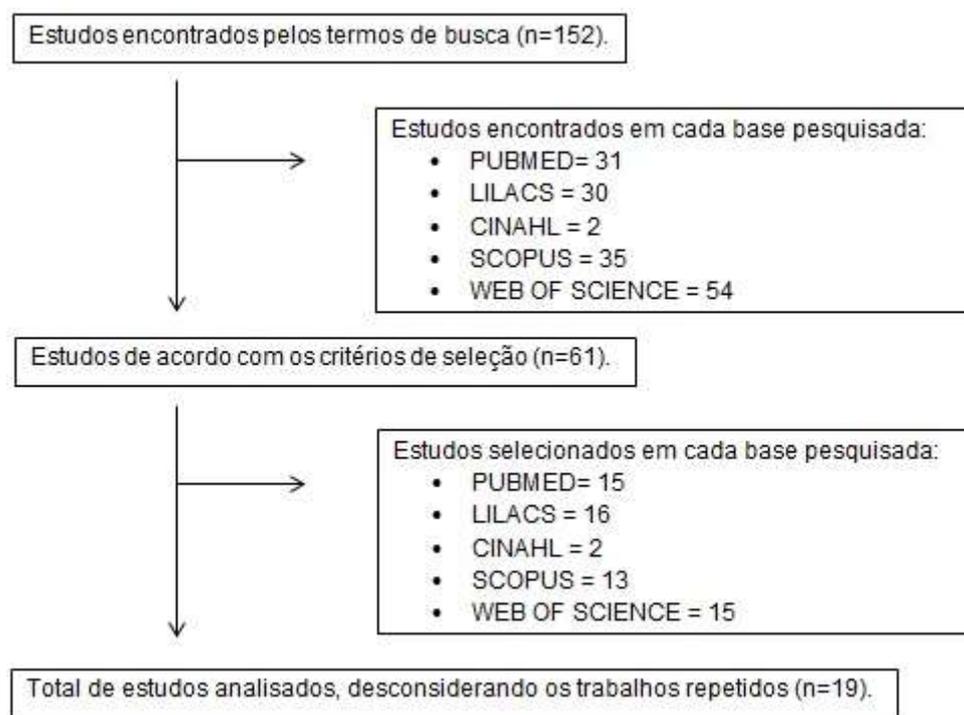


Figura 1 - Procedimento de busca dos estudos.

Nos 19 artigos selecionados, foi estudado um total de 285 indivíduos, classificados como atletas, ativos, destreinados e sedentários de ambos os sexos. A grande maioria das amostras eram compostas exclusivamente por jovens com idade inferior a trinta anos, exceto no estudo de Conchola e colaboradores (2013) que também avaliaram indivíduos idosos. Todos os estudos exibiram média \pm desvio padrão da

idade dos seus voluntários, exceto Yeung e colaboradores (1999) que apresentaram sob forma de média e amplitude numérica. Viitasalo; Komi (1980) e Vos e colaboradores (1991) foram os únicos que não relataram a idade dos participantes de seus estudos.

Apenas um estudo teve sua amostra composta exclusivamente por mulheres (Minshull e colaboradores, 2012a), quatro utilizaram indivíduos de ambos os sexos

(Zhou, 1996; Zhou e colaboradores, 1998; Chan e colaboradores, 2001; Minshull e colaboradores, 2007) e os demais usaram

apenas indivíduos do sexo masculino. As características dos voluntários em cada estudo estão expostas na tabela 1.

Tabela 1 - Dados de caracterização das amostras:

Autor (ano)	Amostra (Nº e Sexo)	Idade (anos) Média \pm DP	Nível de atividade física
Viitasalo, Komi, 1980	29 (M)	NI	NI
Van Dieen e colaboradores, 1991	7 (M)	24,4 \pm 3,5	NI
Vos e colaboradores, 1991	7 (M)	NI	NI
Zhou, 1996	7 (M); 4 (F)	20,6 \pm 2,8	NI
Zhou e colaboradores, 1996	6 (M)	18,8 \pm 0,7	Destreinados
Taylor e colaboradores, 1997	8 (M)	23,5 \pm 1,4	Ativos
Mercer e colaboradores, 1998	7 (M)	21 \pm 0,6	Atletas
Zhou e colaboradores, 1998	4 (M); 3 (F)	20,3 \pm 1,4	NI
Paasuke e colaboradores, 1999	45 (M)	23,3 \pm 1,5 Potencia 21,1 \pm 0,8 Endurance 22,5 \pm 0,8 Destreinados	15 Atletas <i>endurance</i> 15 Atletas potência 15 Destreinados
Yeung e colaboradores, 1999	19 (M)	25,26 (20-30)*	NI
Chan e colaboradores, 2001	11 (M); 6 (F)	21,67 \pm 1,07	NI
Kubo e colaboradores, 2001	7 (M)	25,1 \pm 0,8	NI
Minshull e colaboradores, 2007	7 (M); 9 (F)	29,6 \pm 10,4 (M) 25,2 \pm 4,2 (F)	Ativos
Jouanin e colaboradores, 2009	9 (M)	24 \pm 2	Atletas
Minshull e colaboradores, 2012a	20 (F)	21,3 \pm 2,3	Atletas
Minshul e colaboradores, 2012b	9 (M)	26,7 \pm 6,1	Atletas
Ce e colaboradores, 2013	15 (M)	24 \pm 7	Ativos
Conchola e colaboradores, 2013	36 (M)	Jovens 25 \pm 2,8 Idosos 70,8 \pm 3,8	Ativos
Minshull; James, 2013	10 (M)	24 \pm 4	Ativos

Legenda: DP = desvio padrão; M = masculino; F = feminino; NI = não informado. * Neste estudo a idade foi apresentada sob forma de média e amplitude numérica.

A grande maioria dos autores selecionaram os músculos dos membros inferiores para avaliar o REM, sendo o grupo muscular do quadríceps o mais escolhido.

Dos estudos analisados, apenas dois não seguiram esta tendência. Van Dieën e colaboradores (1991) avaliaram os músculos eretores da espinha, e Jouanin e colaboradores (2009) os flexores dos dedos.

O modo isométrico foi o principal método utilizado, seja de forma máxima ou submáxima.

Dos dezenove estudos, apenas um não optou por este modo de contração. Mercer e colaboradores (1998) utilizaram a contração concêntrica máxima durante o protocolo de avaliação.

Cinco estudos avaliaram, além da contração volitiva, também a contração evocada, seja através da eletroestimulação ou pelo reflexo do tendão patelar (Zhou, 1996;

Minshull e colaboradores, 2007; Minshull e colaboradores, 2012a; Minshul e colaboradores, 2012b; Minshull; James, 2013). Destes estudos, a presente revisão analisou apenas os resultados da avaliação durante a contração voluntária.

Para induzir a fadiga, três estudos recorreram a bicicleta ergométrica (Zhou, 1996; Taylor e colaboradores, 1997; Mercer e colaboradores, 1998), e os demais utilizaram o modo de contração isométrico, porém sob diferentes métodos. As informações sobre os músculos avaliados, método utilizado para avaliar o REM e o protocolo de indução à fadiga estão expostos na tabela 2.

Dos dezenove estudos analisados, quinze apresentaram aumento do REM após o protocolo de fadiga muscular, em quatro estudos não houve diferença significativa e em nenhum trabalho houve diminuição do REM após fadiga. Dados expostos na tabela 3.

Tabela 2 - Métodos de avaliação utilizados

Autor (ano)	Músculos avaliados	Avaliação do REM	Protocolo de fadiga
Viitasalo, Komi, 1980	VL	Durante o protocolo de fadiga.	100 CIVM.
Van Dieen e colaboradores, 1991	Eretores da espinha	Contrações isométricas (50% da CVM).	Contrações isométricas (70% da CVM) por 4s durante 15min.
Vos e colaboradores, 1991	RF; VL e VM	Contrações isométricas (50 e 70% da CVM).	Contrações isométricas submáximas por 100s.
Zhou, 1996	RF e VL	CIVM.	25 CIVM por 8s.
Zhou e colaboradores, 1996	RF e VL	CVIM.	Sprint máximo em cicloergômetro (4x30s).
Taylor e colaboradores, 1997	VL	CIVM.	Cicloergômetro a 77% da FCmáx por 10 min.
Mercer e colaboradores, 1998	BF	CVM.	Cicloergômetro (48 x 1,8 minutos).
Zhou e colaboradores, 1998	VL e RF	CIVM.	25 CIVM por 8s.
Paasuke e colaboradores, 1999	RF	CIVM.	Contração isométrica (40% da CVM) até a exaustão.
Yeung e colaboradores, 1999	VM	CIVM.	30 CIVM por 5s.
Chan e colaboradores, 2001	VL e VMo	CIVM.	6 CIVM por 30s.
Kubo e colaboradores, 2001	VL	CIVM.	50 CIVM por 3s.
Minshull e colaboradores, 2007	BF	CIVM.	Uma CIVM por 30s.
Jouanin e colaboradores, 2009	Flexor dos dedos	Antes e após o protocolo de fadiga.	200 Contrações isométricas sem carga e com carga de 30% da CVM por 2s.
Minshull e colaboradores, 2012a	BF	CIVM.	4 CIVM por 35s.
Minshul e colaboradores, 2012b	BF	CIVM.	30s de ativação sustentada + 5s de esforço máximo.
Ce e colaboradores, 2013	BB	CIVM.	Contração isométrica a 50% da CVM por 6s.
Conchola e colaboradores, 2013	VL e BF	CIVM.	Contração isométrica a 60% da CVM por 6s.
Minshull; James, 2013	VL	CIVM.	3 CIVM por 30s.

Legenda: RF = reto femoral, VL = vasto lateral; VM = vasto medial; VMo = vasto medial obliquo; BF = bíceps femoral; BB = bíceps braquial; GM = gastrocnêmio medial; CIVM = contração isométrica voluntária máxima; CVM = contração voluntária máxima; FCmáx = frequência cardíaca máxima; s = segundos).

Tabela 3 - Resultados apresentados por cada estudo

Autor (ano)	Resultado
Viitasalo, Komi, 1980	=
Van Dieen e colaboradores, 1991	=
Vos e colaboradores, 1991	=
Zhou, 1996	+
Zhou e colaboradores, 1996	+
Taylor e colaboradores, 1997	+
Mercer e colaboradores, 1998	+
Zhou e colaboradores, 1998	+
Paasuke e colaboradores, 1999	+
Yeung e colaboradores, 1999	+
Chan e colaboradores, 2001	+
Kubo e colaboradores, 2001	+
Minshull e colaboradores, 2007	+*
Jouanin e colaboradores, 2009	+
Minshull e colaboradores, 2012a	+
Minshul e colaboradores, 2012b	+
Ce e colaboradores, 2013	+
Conchola e colaboradores, 2013	+
Minshull, James, 2013	=

Legenda: (+): aumento do REM após o protocolo de fadiga; (=): sem diferenças do REM após o protocolo de fadiga. *Neste estudo, apenas o sexo feminino apresentou aumento do REM após a fadiga, enquanto o sexo masculino não apresentou diferenças significativas.

DISCUSSÃO

A maioria dos estudos analisados mostrou que ocorre um aumento do atraso eletromecânico em situações de fadiga muscular. Isto acontece pela influência da fadiga nos mecanismos fisiológicos que causam o retardo eletromecânico.

Como por exemplo, o aumento do comprimento e perda de tensão dos componentes elásticos em séries, devido à carga mecânica constante que sofrem durante contrações repetitivas no protocolo de fadiga, o que requer mais tempo para que estas estruturas transmitam a tensão aos ossos (Maganaris, 2002; Minshull e colaboradores, 2007).

Outros autores afirmam ainda que a fadiga muscular retarda a transmissão do potencial de ação para o interior da fibra muscular devido à incapacidade do músculo restaurar os gradientes de sódio e potássio e também pela desaceleração do processo de condução nos túbulos T, o que conseqüentemente atrasa o processo de acoplamento excitação-contração, aumentando a duração do REM (Zhou, 1996; Green, 1997; Conchola e colaboradores, 2013).

Em quatro estudos, os valores de REM não diferiram entre as avaliações pré e pós-protocolo de fadiga, não confirmando a influência da fadiga no atraso eletromecânico como visto nos demais trabalhos. Nos estudos de Viitasalo; Komi (1980) e Vos e colaboradores (1991) foi estabelecido um número fixo de contrações musculares e não houve uma carga pré-determinada, o que pode não ter sido suficiente para fatigar alguns dos voluntários.

O mesmo pode ter ocorrido no estudo de Van Dieën e colaboradores (1991), pois o fato dos autores terem avaliado um grupo muscular extremamente resistente à fadiga, composto em sua grande maioria por fibras musculares do tipo I (Sirca, Kostevc, 1985), necessitaria de a amostra ser submetida a um protocolo indutor demasiadamente vigoroso.

Com relação ao estudo de Minshull e James (2013), os autores sugeriram que o controle de hidratação feito nos seus voluntários teria resultado em uma maior rigidez neuromecânica causada pela presença de líquidos no tecido viscoelástico, melhorando, assim, a transmissão de força do

músculo e, portanto, evitando o aumento do REM mesmo em situações de fadiga.

O grupo muscular da coxa e o modo de contração isométrico foram as principais semelhanças metodológicas entre os estudos.

Apesar de não ser o modo de contração mais funcional, a isometria, na ausência do modo isocinético, representa uma boa alternativa para se padronizar a contração muscular entre vários sujeitos, e por isso é comumente utilizada para avaliar parâmetros de força e ativação muscular.

Com relação ao grupo muscular escolhido, é sabido que a articulação do joelho é altamente vulnerável a lesões, o que pode desencadear limitações significativas e incapacidade do indivíduo, por isso, essa articulação e os músculos que a envolvem, têm sido alvo de vários estudos que buscam compreender suas características morfológicas e biomecânicas para a formulação de programas de reabilitação cada vez mais eficazes (McGinty e colaboradores, 2000).

Esta revisão buscou estabelecer critérios de elegibilidade que possibilitasse a máxima homogeneidade dos estudos selecionados, como forma de obter resultados comparáveis.

Por isso, a opção de incluir apenas os trabalhos que utilizaram contrações voluntárias em seu protocolo de avaliação. De todos os estudos encontrados, seis foram excluídos por avaliarem o REM durante contração muscular evocada, seja por eletroestimulação, ou através do reflexo do tendão patelar.

O tempo do REM varia consideravelmente entre as contrações voluntárias e estimuladas devido aos diferentes tipos de unidades motoras recrutadas em cada uma delas (Zhou, 1996).

Além disso, durante contrações eletricamente estimuladas, a latência do REM tende a diminuir após a fadiga muscular (Sahlin, Seger, 1995; Minshull e colaboradores, 2007). Isso se deve a ativação de unidades motoras "reservas" que protegem a articulação durante uma situação de fadiga e que são mais facilmente recrutadas pela eletroestimulação, em virtude do seu limiar mais elevado (Minshull e colaboradores, 2007).

De acordo com os resultados desta revisão, torna-se recomendável aos profissionais da saúde no esporte evitar

movimentos rápidos ou explosivos de seus atletas/pacientes em situações de fadiga muscular, pois o retardo neuromuscular, expresso pelo atraso eletromecânico, pode reduzir o desempenho funcional e contribuir potencialmente para o surgimento de lesões.

CONCLUSÃO

A fadiga muscular aumenta a latência do retardo eletromecânico durante contrações musculares voluntárias.

Apesar da variabilidade metodológica entre os trabalhos, voluntários com idade inferior a trinta anos, avaliação do REM através de contração isométrica voluntária máxima e os músculos que possuem ação na articulação do joelho foram os fatores metodológicos mais presentes.

Estes resultados podem ajudar os profissionais que lidam com a atividade física nas tarefas de avaliar o padrão funcional e determinar protocolos de exercícios de maneira a aumentar o rendimento e diminuir o risco de lesões de indivíduos ativos ou sedentários de ambos os sexos.

REFERÊNCIAS

- 1-Ayala, F.; Ste Croix, M. De.; Sainz De Baranda, P.; Santonja, F. Inter-session reliability and sex-related differences in hamstrings total reaction time, pre-motor time and motor time during eccentric isokinetic contractions in recreational athlete. *Journal of electromyography and kinesiology*. Vol. 24. Num. 2. 2014. p.200-206.
- 2-Blackburn, J. T.; Bell, D. R.; Norcross, M. F.; Hudson, J. D.; Engstrom, L. A. Comparison of hamstring neuromechanical properties between healthy males and females and the influence of musculotendinous stiffness. *Journal of electromyography and kinesiology*. Vol. 19. Num. 5. 2009. p.362-369.
- 3-Cavanagh, P. R.; Komi, P. V. Electromechanical delay in human skeletal muscle under concentric and eccentric contractions. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. Vol. 42. Num. 3. 1979. p.159-163.
- 4-Cè, E.; Rampichini, S.; Agnello, L.; e colaboradores. Effects of temperature and fatigue on the electromechanical delay components. *Muscle & nerve*. Vol. 47. Num. 4. 2013. p.566-576.
- 5-Chan, A. Y.; Lee, F. L.; Wong, P. K.; Wong, C. Y.; Yeung, S. S. Effects of knee joint angles and fatigue on the neuromuscular control of vastus medialis oblique and vastus lateralis muscle in humans. *European journal of applied physiology*. Vol. 84. Num. 1-2. 2001. p.36-41.
- 6-Conchola, E. C.; Thompson, B. J.; Smith, D. B. Effects of neuromuscular fatigue on the electromechanical delay of the leg extensors and flexors in young and old men. *European journal of applied physiology*. Vol. 113. Num. 9. 2013. p.2391-2399.
- 7-Crozara, L. F.; Morcelli, M. H.; Marques, N. R.; e colaboradores. Motor readiness and joint torque production in lower limbs of older women fallers and non-fallers. *Journal of electromyography and kinesiology*. Vol. 23. Num. 5. 2013. p.1131-1138.
- 8-Dieën, J. Van.; Thissen, C.; Ven, A. Van De.; Toussaint, H. The electro-mechanical delay of the erector spinae muscle: influence of rate of force development, fatigue and electrode location. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. Vol. 63. 1991. p.216-222.
- 9-Esposito, F.; Limonta, E.; Cè, E. Passive stretching effects on electromechanical delay and time course of recovery in human skeletal muscle: new insights from an electromyographic and mechanomyographic combined approach. *European journal of applied physiology*. Vol. 111. Num. 3. 2011. p.485-495.
- 10-Ferreira, M. A. R.; Vencesbrito, A. M. Sex differences in electromechanical delay during a punch movement. *Perceptual and motor skills*. Vol. 115. Num. 1. 2012. p.228-240.
- 11-Granata, K. P.; Ikeda, A. J.; Abel, M. F. Electromechanical delay and reflex response in spastic cerebral palsy. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. Vol. 81. Num. 7. 2000. p.888-894.

- 12-Green, H. J. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *Journal of sports sciences*. Vol. 15. Num. 3. 1997. p.247-256.
- 13-Grosset, J.-F.; Piscione, J.; Lambertz, D.; Pérot, C. Paired changes in electromechanical delay and musculo-tendinous stiffness after endurance or plyometric training. *European journal of applied physiology*. Vol. 105. Num. 1. 2009. p.131-139.
- 14-Hall, S. J. *Biomecânica Básica*. 6a ed. Guanabara Koogan. 2009. p.464.
- 15-Hamill, J.; Knutzen, K. M.; Ribeiro, L. B.; Barbanti, V. J. *Bases biomecânicas do movimento humano*. 3a ed. Manole. 2012. p.528.
- 16-Hannah, R.; Minshull, C.; Smith, S. L.; Folland, J. P. Longer Electromechanical Delay Impairs Hamstrings Explosive Force versus Quadriceps. *Medicine and science in sports and exercise*. Vol. 46. Num. 5. 2014. p.963-972.
- 17-Jouanin, J.-C.; Pérès, M.; Ducorps, A.; Renault, B. A dynamic network involving M1-S1, SII-insular, medial insular, and cingulate cortices controls muscular activity during an isometric contraction reaction time task. *Human brain mapping*. Vol. 30. Num. 2. 2009. p.675-688.
- 18-Kirkendall, D. T. Mechanisms of peripheral fatigue. *Medicine and science in sports and exercise*. Vol. 22. Num. 4. 1990. p.444-449.
- 19-Kubo, K.; Kanehisa, H.; Kawakami, Y.; Fukunaga, T. Effects of repeated muscle contractions on the tendon structures in humans. *European journal of applied physiology*. Vol. 84. Num. 1-2. 2001. p.162-166.
- 20-Laroche, D. P.; Cremin, K. A.; Greenleaf, B.; Croce, R. V. Rapid torque development in older female fallers and nonfallers: a comparison across lower-extremity muscles. *Journal of electromyography and kinesiology*. Vol. 20. Num. 3. 2010. p.482-488.
- 21-Linford, C. W.; Hopkins, J. T.; Schulthies, S. S.; e colaboradores. Effects of neuromuscular training on the reaction time and electromechanical delay of the peroneus longus muscle. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. Vol. 87. Num. 3. 2006. p.395-401.
- 22-Maganaris, C. N. Tensile properties of in vivo human tendinous tissue. *Journal of biomechanics*. Vol. 35. Num. 8. 2002. p.1019-1027.
- 23-McGinty, G.; Irrgang, J. J.; Pezzullo, D. Biomechanical considerations for rehabilitation of the knee. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*. Vol. 15. Num. 3. 2000. p.160-166.
- 24-Mercer, T. H.; Gleeson, N. P.; Claridge, S.; Clement, S. Prolonged intermittent high intensity exercise impairs neuromuscular performance of the knee flexors. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. Vol. 77. Num. 6. 1998. p.560-562.
- 25-Minshull, C.; Eston, R.; Bailey, A.; Rees, D.; Gleeson, N. Repeated exercise stress impairs volitional but not magnetically evoked electromechanical delay of the knee flexors. *Journal of sports sciences*. Vol. 30. Num. 2. 2012a. p.217-225.
- 26-Minshull, C.; Eston, R.; Rees, D.; Gleeson, N. Knee joint neuromuscular activation performance during muscle damage and superimposed fatigue. *Journal of sports sciences*. Vol. 30. Num. 10. 2012b. p.1015-1024.
- 27-Minshull, C.; Gleeson, N.; Walters-Edwards, M.; Eston, R.; Rees, D. Effects of acute fatigue on the volitional and magnetically-evoked electromechanical delay of the knee flexors in males and females. *European journal of applied physiology*. Vol. 100. Num. 4. 2007. p.469-478.
- 28-Minshull, C.; James, L. The effects of hypohydration and fatigue on neuromuscular activation performance. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*. Vol. 38. Num. 1. 2013. p.21-26.
- 29-Nordez, A.; Gallot, T.; Catheline, S.; e colaboradores. Electromechanical delay revisited using very high frame rate ultrasound. *Journal of applied physiology*. Vol. 106. Num. 6. 2009. p.1970-1975.

- 30-Pääsuke, M.; Ereline, J.; Gapeyeva, H. Neuromuscular fatigue during repeated exhaustive submaximal static contractions of knee extensor muscles in endurance-trained, power-trained and untrained men. *Acta physiologica Scandinavica*. Vol. 166. Num. 4. 1999. p.319-326.
- 31-Sahlin, K.; Seger, J. Y. Effects of prolonged exercise on the contractile properties of human quadriceps muscle. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. Vol. 71. Num. 2-3. 1995. p.180-186.
- 32-Sales, R. P.; Miné, C. E. C.; Franco, A. D.; e colaboradores. Efeitos da suplementação aguda de aspartato de arginina na fadiga muscular em voluntários treinados. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 11. Num. 6. 2005. p.347-351.
- 33-Silva, B. A. R. S.; Martizez, F. G.; Pacheco, A. M.; Pacheco, I. Efeitos da fadiga muscular induzida por exercícios no tempo de reação muscular dos fibulares em indivíduos saudáveis. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 12. Num. 2. 2006. p.85-89.
- 34-Sirca, A.; Kostevc, V. The fibre type composition of thoracic and lumbar paravertebral muscles in man. *Journal of anatomy*. Vol. 141. 1985. p.131-137.
- 35-Taylor, A. D.; Bronks, R.; Smith, P.; Humphries, B. Myoelectric evidence of peripheral muscle fatigue during exercise in severe hypoxia: some references to m. vastus lateralis myosin heavy chain composition. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. Vol. 75. Num. 2. 1997. p.151-159.
- 36-Viitasalo, J. T.; Komi, P. V. EMG, reflex and reaction time components, muscle structure, and fatigue during intermittent isometric contractions in man. *International Journal of Sports Medicine*. Vol. 1. Num. 4. 1980. p.185-190.
- 37-Vint, P. F.; Mclean, S. P.; Harron, G. M. Electromechanical delay in isometric actions initiated from nonresting levels. *Medicine and science in sports and exercise*. Vol. 33. Num. 6. 2001. p.978-983.
- 38-Vos, E. J.; Harlaar, J.; Ingen Schenau, G. J. Van. Electromechanical delay during knee extensor contractions. *Medicine and science in sports and exercise*. Vol. 23. Num. 10. 1991. p.1187-1193.
- 39-Yeung, S. S.; Au, A. L.; Chow, C. C. Effects of fatigue on the temporal neuromuscular control of vastus medialis muscle in humans. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. Vol. 80. Num. 4. 1999. p.379-385.
- 40-Zhou, S. Acute effect of repeated maximal isometric contraction on electromechanical delay of knee extensor muscle. *Journal of electromyography and kinesiology*. Vol. 6. Num. 2. 1996. p.117-127.
- 41-Zhou, S.; Carey, M. F.; Snow, R. J.; Lawson, D. L.; Morrison, W. E. Effects of muscle fatigue and temperature on electromechanical delay. *Electromyography and clinical neurophysiology*. Vol. 38. Num. 2. 1998. p.67-73.
- 42-Zhou, S.; Mckenna, M. J.; Lawson, D. L.; Morrison, W. E.; Fairweather, I. Effects of fatigue and sprint training on electromechanical delay of knee extensor muscles. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. Vol. 72. Num. 5-6. 1996. p.410-416.

Endereço para correspondência:
Rua Marechal Deodoro, 44.
Bairro Paredões, Mossoró, RN.
CEP: 59618-120.

Recebido para publicação 04/09/2015
Aceito em 22/02/2016