



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO HUMANO E
TECNOLOGIAS
(MESTRADO)**

**TOLERÂNCIA AO EXERCÍCIO DURANTE CONTRAÇÕES MUSCULARES
ABAIXO E ACIMA DO TORQUE CRÍTICO EM DIFERENTES GRUPOS
MUSCULARES**

Aluno: Leonardo Henrique Perinotto Abdalla

Orientador(a): Profa. Dra. Camila Coelho Greco

Co-orientador: Prof. Dr. Renato Aparecido Corrêa Caritá

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Humano e Tecnologias (Área de Concentração: Tecnologias nas Dinâmicas Corporais)

Fevereiro - 2018



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – RIO CLARO



LEONARDO HENRIQUE PERINOTTO ABDALLA

**TOLERÂNCIA AO EXERCÍCIO DURANTE CONTRAÇÕES MUSCULARES
ABAIXO E ACIMA DO TORQUE CRÍTICO EM DIFERENTES GRUPOS
MUSCULARES**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Humano e Tecnologias (Área de Concentração: Tecnologias nas Dinâmicas Corporais)

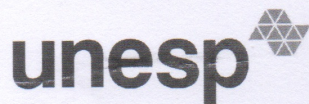
ORIENTADORA: PROFA. DRA. CAMILA COELHO GRECO

**Rio Claro
Fevereiro - 2018**

796.022 Abdalla, Leonardo Henrique Perinotto
A135t Tolerância ao exercício durante contrações musculares
abaixo e acima do torque crítico em diferentes grupos
musculares / Leonardo Henrique Perinotto Abdalla. - Rio
Claro, 2018
70 f. : il., figs., gráfs., forms., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientadora: Camila Coelho Greco
Coorientador: Renato Aparecido Corrêa Caritá

1. Cinesiologia. 2. Potência crítica. 3. Exercício resistido.
4. Músculo. 5. Resistência muscular. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Rio Claro



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Tolerância ao exercício durante contrações musculares abaixo e acima do torque crítico em diferentes grupos musculares

AUTOR: LEONARDO HENRIQUE PERINOTTO ABDALLA

ORIENTADORA: CAMILA COELHO GRECO

COORIENTADOR: RENATO APARECIDO CORRÊA CARITÁ

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em DESENVOLVIMENTO HUMANO E TECNOLOGIAS, área: TECNOLOGIAS NAS DINÂMICAS CORPORAIS pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. CAMILA COELHO GRECO

Departamento de Educação Física / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP

Prof. Dr. ADALGISO COSCRATO CARDOZO

Departamento de Educação Física / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP

Prof. Dr. LUIS FABIANO BARBOSA

Departamento de Educação Física / UEMG - Universidade do Estado de Minas Gerais - Passos / MG

Rio Claro, 28 de fevereiro de 2018

AGRADECIMENTOS

A meus pais, por terem me apoiado durante mais esta etapa da minha vida e por terem me passado conhecimento tão importante quanto ao que obtive profissionalmente durante o mestrado, conhecimento sobre a vida, os quais também foram passados a eles por meus avós, ajudando a me tornar quem sou hoje. A minha namorada e companheira Isabel dos Santos Tigre, que esta sempre ao meu lado durante todas as etapas da vida.

A professora e orientadora Camila, por ter me aceito como orientando no mestrado. Ao professor Denadai, por ter dado-me a honra de contribuir com meu desenvolvimento intelectual. Aos amigos de laboratório, que apesar do desgaste da convivência diária, sempre estiveram juntos comigo. Espero poder sempre contar com esta amizade da mesma forma que eles sempre poderão contar com a minha, seja dentro ou fora do ambiente profissional.

À professora Camila, todos os membros do Laboratório de Avaliação da Performance Humana e do Laboratório de Estudos de Esportes de Endurance, pela troca de conhecimentos e pela amizade que guardarei com muito carinho. À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, todos os voluntários e pessoas que tornaram possível a realização deste projeto.

“Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes. É assim que as espigas sem grãos erguem desdenhosamente a cabeça para o Céu, enquanto que as cheias as baixam para a terra, sua mãe” (Leonardo da Vinci).

RESUMO

O objetivo deste estudo foi testar as hipóteses de que o torque crítico (TC) (expresso como % de uma contração voluntária máxima, CVM) é maior para os flexores plantares (FP) com relação aos músculos extensores do joelho (EJ), enquanto o impulso acima do TC (W') é maior para EJ do que FP. Assim, esperamos que a tolerância ao exercício seja maior para EJ do que FP somente durante o exercício realizado acima de TC. Após a determinação da CVM, 11 homens realizaram dois testes All-Out de 5 min para determinar TC e W' . Os onze sujeitos realizaram mais 4 testes isométricos intermitentes até a falha da tarefa, + 5% TC e - 5% TC para ambos os músculos, e 1 teste para EJ na mesma intensidade de exercício em (% CVM) correspondente a + 5% TC do FP. O W' ($7243,2 \pm 1942,9$ vs. $3357,4 \pm 1132,3$ N · m · s) e TC ($84,4 \pm 24,8$ vs. $73,9 \pm 19,5$ N · m) foram significativamente menores para FP em comparação com EJ. A tolerância ao exercício foi significativamente mais longa para FP ($300,7 \pm 156,7$ s) do que EJ ($156,7 \pm 104,3$ s) em CVM semelhante (~60%), e foi significativamente menor para FP ($300,7 \pm 156,7$ s) do que EJ ($697,0 \pm 243,7$ s) na condição de + 5% do TC. No entanto, nenhuma diferença significativa foi observada para condição de - 5% do TC (EJ = $1030,2 \pm 495,4$ s vs. FP = $1028,3 \pm 514,4$ s). Assim, o limite de tolerância durante as contrações isométricas submáximas é influenciado pela CVM absoluta apenas durante o exercício realizado em intensidade acima do TC, o que parece ser explicado por diferenças nos valores de TC (expressos em % CVM) e o W' .

Palavras-chave: potência crítica, exercício resistivo, músculo, resistência muscular.

ABSTRACT

The objective of this study was to test the hypotheses that critical torque (CT) (expressed as % maximal voluntary contraction; MVC) is higher for plantar flexors (PF) than knee extensors (KE) muscles, whereas impulse above ET (W') is higher for KE than PF. Thus, we expected that exercise tolerance would be longer for KE than PF only during the exercise performed above ET. After the determination of MVC, 11 men performed two 5-min all-out tests to determine ET and IET. Eleven participants performed a further 4 intermittent isometric tests, to exhaustion, at ET + 5% and ET – 5%, and 1 test for KE at the exercise intensity (%MVC) corresponding to ET + 5% of PF. The W' (7243.2 ± 1942.9 vs. 3357.4 ± 1132.3 N·m·s) and CT (84.4 ± 24.8 vs. 73.9 ± 19.5 N·m) were significantly lower in PF compared with KE. The exercise tolerance was significantly longer for PF (300.7 ± 156.7 s) than KE (156.7 ± 104.3 s) at similar %MVC (~60%), and significantly shorter for PF (300.7 ± 156.7 s) than KE (697.0 ± 243.7 s) at ET + 5% condition. However, no significant difference was observed for ET – 5% condition (KE = 1030.2 ± 495.4 s vs. PF = 1028.3 ± 514.4 s). Thus, the limit of tolerance during submaximal isometric contractions is influenced by absolute MVC only during exercise performed above ET, which seems to be explained by differences on both CT (expressed as %MVC) and W' values.

Keywords: critical power, resistive exercise, muscle, muscular endurance.

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINAS
Figura 1 – Delineamento experimental.....	36
Figura 2 - Valores do torque durante o teste all-out para os músculos extensores do joelho de um sujeito representativo. A linha preta representa o TC e W' = trabalho acima do TC.....	39
Figura 3. Torque de um sujeito representativo. A área sombreada dentro da curva do torque absoluto retrata o meio utilizado para o cálculo do impulso do torque (área sombreada)	39
Figura 4 - Perfil do torque durante a contração isométrica submáxima. A seta indica o momento do teste considerado como exaustão. A linha tracejada representa o torque alvo.....	40
Figura 5 – Valores médios \pm DP do torque durante o teste <i>all-out</i> para os músculos extensores do joelho e flexores plantares.....	43
Figura 6 - Valores médios \pm DP do torque dos extensores do joelho (EJ) e flexores plantares (FP) expressos através de percentual da CVM durante o teste <i>all-Out</i> de 5 min.....	43

LISTA DE TABELAS

PÁGINAS

Tabela 1 – Valores Média \pm DP da contração voluntária máxima (CVM), torque critico em valor absoluto (TC/ Nm), torque critico em valor relativo a CVM (TC %), impulso acima do torque critico (W') para os extensores do joelho (EJ) e flexores plantares (PF)	42
Tabela 2. Valores médios \pm DP dos tempos de tolerâncias aos exercícios obtidos durante os testes de exaustão acima (+ 5% TC), abaixo (- 5% TC) e na mesma porcentagem da contração voluntária máxima (CVM similar) em relação a (+5% TC) do PF, realizado pelo EJ.	44
Tabela 3. Valores médios \pm DP da razão entre (TC/ CVM) e das correlações entre (W' / CVM) e (TC/ CVM) para FP e EJ.....	45

LISTA DE FÓRMULAS

	PÁGINAS
<p>(1). $T_{lim} = W' / P - PC$.....25</p> <p>onde: W' é o valor da área sob a curva de torque acima do PC durante o <i>all-out</i> 5 min, conforme descrito acima. Já o P representa o valor da potência acima do PC que foi escolhida para o calculo. O PC é referente ao valor da PC.</p>	
<p>(2). Potência = $PC + (W' \cdot I / T_{lim})$25</p> <p>onde: PC é referente ao valor da PC. O W' é o valor da área sob a curva de torque acima do PC durante o <i>all-out</i> 5 min, conforme descrito acima. Já o T_{lim} é referente ao tempo escolhido para o calculo.</p>	
<p>(3). Trabalho = $W' + (PC \cdot T_{lim})$25</p> <p>onde: W' é o valor da área sob a curva de torque acima do PC durante o <i>all-out</i> 5 min, conforme descrito acima. A PC é referente ao valor da PC. Já o T_{lim} é referente ao tempo escolhido a para o calculo.</p>	

LISTA DE ABREVIATURAS

³¹P-MRS - Espectroscopia por Fósforo 31 Ressonância Nuclear Magnética

ADP - Adenosina Difosfato

All Out - Força na Potência Máxima

AP – Adutor do Polegar

ATP - Adenosina Trifosfato

Cr - Creatina Livre

CVM - Contração voluntaria Máxima

EJ - Extensores do Joelho

EMG - Eletromiografia

FC - Força Crítica

FM - Frequência Mediana

FP - Flexor Plantar do Tornozelo

PM - Preensão Manual

GL - Gastrocnêmico Lateral

H⁺ - Íons de Hidrogênio

IEMG - Integral da Eletromiografia

K⁺ - Íons Potássio

LL - Limiar de Lactato

LV1 - Primeiro Limiar Ventilatório

O₂ - Oxigênio

PC – Potência Crítica

PCr - Creatina Fosfato

PH - Potencial Hidrogeniônico

Pi - Fosfato Inorgânico

PTI - Pico de Torque Isométrico

RMS - *Root Mean Square*

SNC - Sistema Nervoso Central

TC - Torque Crítico

TE – Tamanho do Efeito

T_{lim} - Tempo Limite

VC - Velocidade Crítica

VL - Vasto Lateral do Quadríceps

VO₂ - Volume de Oxigênio

VO₂max - Volume de Oxigênio Máximo

W' - Capacidade de Trabalho Anaeróbio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVO GERAL.....	18
2.1 Objetivos específicos.....	18
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1 Tolerância ao exercício em diferentes grupos musculares normalizada através da CVM.....	19
3.2 Domínios de intensidade de exercício	22
3.3 Modelo da potência crítica.....	24
3.3.1 Tolerância ao exercício realizado acima da PC.....	27
3.3.2 Tolerância ao exercício realizado abaixo da PC.....	30
4. JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE.....	33
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
5.1 Sujeitos.....	35
5.2 Critérios de inclusão e exclusão no estudo.....	35
5.3 Delineamento experimental.....	35
5.4 Dinamômetro isocinético	37
5.5 Familiarização	37
5.6 Determinação do pico de torque isométrico (PTI)	38
5.7 Teste <i>all-out</i> para a determinação do torque crítico e do impulso acima do torque crítico.....	38
5.8 Testes para determinação do tempo de tolerância (T_{lim}).....	40
5.9 Análise dos dados.....	41
5.10 Análise estatística.....	41
6. RESULTADOS.....	42
6.1 Valores de CVM, TC e W'.....	42
6.2 Valores de tempo de tolerância entre EJ e FP.....	44
6.3 Razão e Correlações entre (TC/ CVM) e (W'/ CVM)	45

7. DISCUSSÃO.....	46
7.1 Validade do exercício intermitente isométrico realizado na forma <i>all-out</i>...	47
7.2 Determinação e comparação dos valores de TC e W' dos músculos extensores do joelho e flexores plantares.....	48
7.3 Tolerância ao exercício normalizado através do modelo TC.....	49
7.3.1 Tempo de tolerância ao exercício acima TC.....	49
7.3.2 Tempo de tolerância ao exercício abaixo TC.....	52
7.3.3 Tolerância ao Exercício Normalizado por meio do valor da CVM.....	54
7.3.4 Comparação T_{lim} entre realizado e previsto pela equação.....	57
8. CONCLUSÃO.....	58
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXO I - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	66
ANEXO II - Questionário de Prontidão para Atividade Física (PAR-Q)	70

1 INTRODUÇÃO

O tempo de realização de um exercício em uma determinada intensidade (i.e., tempo limite – (T_{lim}) tem sido frequentemente utilizado para se analisar tanto a performance como a fadiga muscular, que é definida como a redução da capacidade máxima de produção de força ou mesmo incapacidade de manutenção em uma determinada intensidade submáxima (ENOKA e DUCHATEAU, 2008; GANDEVIA, 2001). Muitos estudos analisaram o T_{lim} durante exercícios que envolvem simultaneamente diversos músculos, como o ciclismo e a corrida (BILLAT et al., 1994; CHIDNOK et al., 2012; CARITÁ et al., 2014), bem como durante exercícios resistidos com contrações isométricas (BURNLEY, VANHATALO, JONES, 2012; NEYROUD et al., 2013; KELLAWAN e TSCHAKOVSKY, 2014b). Ao se analisar os estudos que compararam o T_{lim} em exercícios resistidos durante contrações isométricas realizadas em diferentes grupos musculares, alguns estudos não encontraram diferença na tolerância ao exercício (NAGLE, SEALS, HANSON, 1988; DEEB, DRURY, PENDERGAST, 1992), porém a maior parte dos estudos na literatura encontraram diferenças significantes na tolerância entre diferentes grupos musculares, comparados na mesma intensidade relativa (OHASHI, 1993; SMOLANDER et al., 1998; FREY LAW e ALVIN, 2010). Com isso, a tolerância ao exercício realizado com contrações isométricas realizadas tanto de forma contínua como intermitente, com intensidades normalizadas através do percentual de uma contração voluntária máxima (%CVM), pode ser bastante variada entre diferentes grupos musculares (OHASHI, 1993; SMOLANDER et al., 1998; FREY LAW e ALVIN, 2010).

Diversos mecanismos têm sido propostos afim de se explicar as possíveis variações do T_{lim} entre diferentes grupos musculares. Dentre os possíveis mecanismos associados, tem sido largamente sugerido na literatura que níveis maiores de força máxima que podem ser atingidos por alguns grupos musculares, estão associados com maiores pressões intramusculares, maior restrição do fluxo sanguíneo, e maior déficit de oxigênio (HUNTER et al., 2004; KENT-BRAUN, MILLER, WEINER, 1993), o que poderia gerar uma menor tolerância ao exercício realizado com intensidades submáximas. De fato, quando comparados grupos musculares com forças máximas diferentes, porém no mesmo %CVM, o T_{lim} parece

ser menor para o músculo com maior força máxima (HUNTER et al., 2001; SATO et al., 1989).

Um aspecto importante relacionado à diferença de resultados entre os diferentes estudos na literatura, pode ser a forma de normalização da intensidade durante a contração muscular isométrica. Pesquisas têm sugerido que o ambiente intracelular durante o exercício na mesma intensidade relativa à CVM, podem ser diferentes entre indivíduos (KENT-BRAUN, MILLER, WEINER, 1993). Por exemplo, por Saugen et al. (1997) através de contrações isométricas intermitentes até a exaustão a 40%CVM, observaram que, enquanto a maioria dos sujeitos se exercitaram demonstrando respostas metabólicas não estáveis, pelo menos dois participantes não atingiram esta instabilidade e executaram o exercício durante um período consideravelmente mais longo e com um estímulo metabólico substancialmente menor que outros sujeitos.

Portanto, a normalização da intensidade de exercício com base na %CVM pode não proporcionar um ambiente fisiológico similar entre os músculos. Com isso, a normalização através da CVM individual pode levar os sujeitos a exercitarem-se em diferentes condições metabólicas, podendo dificultar as interpretações dos resultados.

O modelo de potência crítica (PC) tem sido utilizado para se determinar a capacidade aeróbia, como também o trabalho que pode ser realizado acima da PC (W') (JONES et al., 2008; POOLE et al., 2016). A PC tem sido tradicionalmente considerada como um delimitador de domínios de intensidade que tendem a compreender intensidades de exercícios nas quais as respostas fisiológicas tendem a ser específicas (GAESSER e POOLE, 1996). De acordo com o modelo de PC proposto por Monod e Scherrer (1965), um indivíduo pode sustentar o exercício em intensidades abaixo da PC por um período indefinido de tempo, desde que os estoques de substratos para a ressíntese de adenosina trifosfato (ATP) pelo sistema oxidativo estejam disponíveis (MORITANI et al., 1981; MONOD e SCHERRER, 1965; BOWEN et al., 2010). No entanto, em intensidades de exercício acima da PC a duração do exercício tende a ser, pelo menos em parte, determinada pela depleção do trabalho que pode ser realizado acima da PC (W'), o qual é determinado pela constante da curvatura da relação potência vs. tempo (MONOD e SCHERRER, 1965; WHIPP et al., 1982; POOLE et al., 1988), e é equivalente a uma quantidade constante de trabalho que é independente da intensidade imposta

(MORITANI et al., 1981; WHIPP et al., 1982; MONOD e SCHERRER, 1965; POOLE et al., 1988).

Para exercícios realizados em grupos musculares específicos, os parâmetros do modelo da potência crítica são conhecidos como torque crítico (TC) e W' (KELLAWAN e TSCHAKOVSKY, 2014b; BURNLEY, 2009; BURNLEY, VANHATALO, JONES, 2012). Recentemente, foi sugerido que o TC além de representar delimitador metabólico, pode ser também um delimitador de respostas neuromusculares diferentes, durante contrações isométricas submáximas (BURNLEY, VANHATALO, JONES, 2012). A utilização deste modelo para se analisar o tempo de tolerância ao exercício em diferentes grupos musculares isolados pode ser interessante, já que este também pode permitir que se analise os músculos ou grupos musculares em condições metabólicas similares. No entanto, para o nosso conhecimento, não há estudos que tenham investigado o T_{lim} entre músculos com diferentes níveis de força máxima, em intensidades de exercício normalizadas através do modelo da potência crítica.

2 OBJETIVO GERAL

O principal objetivo deste estudo será comparar os parâmetros derivados do modelo do torque crítico TC e W' e a tolerância ao exercício realizado em diferentes domínios de intensidade nos músculos extensores do joelho (EJ) e flexores plantares (FP).

2.1 Objetivos específicos

- Determinar e comparar os valores de TC e W' dos músculos EJ e FP;
- Determinar e comparar o T_{lim} no exercício realizado em intensidades de +5% e -5% TC, nos músculos EJ e FP;
- Determinar e comparar o T_{lim} no exercício realizado na mesma intensidade relativa, determinada por meio do %CVM, nos músculos EJ e FP;
- Correlacionar o T_{lim} predito pelo modelo do TC com o tempo realizado, durante o exercício realizado a +5% TC.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Tolerância ao exercício em diferentes grupos musculares normalizada através da CVM

A tolerância ao exercício realizado em diferentes condições é frequentemente analisada por meio do T_{lim} . A relação entre intensidade do exercício e o T_{lim} não é linear, sendo que à medida que a intensidade aumenta o T_{lim} diminui de forma curvilínea e, conseqüentemente, intensidades relativamente baixas podem ser sustentadas por longas durações (FREY LAW e ALVIN, 2010).

Embora o T_{lim} venha sendo frequentemente usado para se estudar a resistência a exercícios que envolvem grandes grupos musculares (JONES et al., 2008), como também de um músculo e / ou fibra muscular isolada em diferentes intensidades (BURKE et al., 1973), pouca atenção tem sido dada aos fatores que podem contribuir para o T_{lim} entre grupos musculares de diferentes articulações, quando analisados em uma mesma intensidade relativa (i.e., percentual da contração voluntária máxima - %CVM), como também os possíveis mecanismos associados à tolerância ao exercício nestas condições (KELLAWAN e TSCHAKOVSKY, 2014b).

Quando as contrações isométricas são realizadas tanto de forma contínua como intermitente, analisados em um mesmo %CVM (NAGLE, SEALS, HANSON, 1988; DEEB, DRURY, PENDERGAST, 1992), diversos estudos têm encontrado variações no T_{lim} entre diferentes articulações para a mesma intensidade relativa (OHASHI, 1993; SMOLANDER et al., 1998; FREY LAW e ALVIN, 2010), embora alguns poucos estudos não encontrem diferenças.

A literatura tem sugerido alguns mecanismos que podem influenciar essas diferenças na tolerância ao exercício, dentre eles estão as variações no tipo de fibra muscular (BURKE et al., 1973), distribuição e ativação das unidades motoras (BIGLAND-RITCHIE, FURBUSH, WOODS, 1986), ativação neural (CLARK et al., 2005), especificidade da tarefa (HUNTER, 2009b), força máxima e área de secção transversa do músculo (HUNTER et al., 2009a).

Ohashi (1993) analisando contrações isométricas contínuas a 30%, 40% e 50%CVM, encontrou diferenças no T_{lim} entre os músculos flexores do cotovelo (FC)

(210 s, 127 s e 68 s, respectivamente) e os FP (455 s, 202 s, 123 s, respectivamente). Em um outro estudo, (SMOLANDER et al. 1998) utilizando contrações semelhantes mantidas até exaustão a 20%, 40% e 60% CVM, usando os músculos do FP (490 s, 126 s e 52 s, respectivamente) e os EJ (225 s, 84 s e 40 s, respectivamente), também verificaram diferenças no T_{lim} entre estes diferentes grupos musculares.

Frey Law e Avin (2010), através de uma meta-análise, compararam diversos estudos utilizando diferentes articulações (tornozelo, tronco, cotovelo, joelho e ombro) e seus respectivos tempos de exaustão durante a contração isométrica, em função de diversas intensidades normalizadas pela CVM dos indivíduos. Verificou-se que o T_{lim} variou significativamente entre as articulações analisadas em função da intensidade de contração. Neste estudo, a magnitude da diferença expressa pelo tamanho do efeito (Cohen's) do T_{lim} entre os FP e os EJ foi considerada grande ($d = 2,7$) e, a maior diferença encontrada foi entre os músculos do manguito rotador do ombro em relação aos músculos FP ($d = 2,9$).

Mais recentemente, Neyroud et al. (2013) analisaram a tolerância ao exercício isométrico realizado de forma contínua, nos músculos de membros superiores e inferiores (FC, EJ, FP e adutores do polegar [AP]) durante a contração isométrica a 50% CVM, e corroborando com os dados citados acima. Os pesquisadores encontraram diferentes valores de T_{lim} entre os grupos musculares analisados (72 s, 77 s, 220 s, 114 s respectivamente). Os FP foram os que apresentaram a maior tolerância ao exercício nas condições analisadas. Os pesquisadores sugerem que essas diferenças podem estar ligadas à função postural dos respectivos músculos. Portanto, grupos musculares do membro superior que não passam por processo de contração muscular semelhante aos músculos posturais do membro inferior, os quais contraem constantemente ao longo do dia reagindo na manutenção da postura perante a gravidade, podem apresentar maiores deficiências contrateis.

Por outro lado, Kent-braun, Miller, Weiner, (1993) e Hunter et al., (2004) sugerem que níveis maiores de força máxima que podem ser atingidos por alguns grupos musculares estão associados com maiores pressões intramusculares, maior restrição do fluxo sanguíneo, e maior déficit de oxigênio (O_2) o que poderia gerar uma menor tolerância ao exercício.

Embora, partindo do ponto de vista de que a magnitude da resposta pressórica durante uma contração muscular isométrica contínua é uma função do

tamanho da massa muscular utilizada, Nagle, Seals, Hanson, (1988) não encontraram diferenças estatísticas no T_{lim} a 30% CVM nos movimentos de preensão manual (PM) (203 s), extensão do joelho com as duas pernas (216 s) e levantamento terra (220 s).

Como mencionado anteriormente, para se analisar a tolerância ao exercício durante exercícios localizados, tem sido utilizada a normalização da intensidade através do %CVM, com a determinação da resposta de alguns metabólitos (fosfocreatina – (PCr), fosfato inorgânico – (Pi) íons de hidrogênio – (H⁺) e pH) ao longo do tempo, para se analisar o impacto do exercício sobre estes parâmetros. Além disso, esta análise permite também comparar indivíduos ou mesmo diferentes grupos musculares para a mesma carga relativa à CVM (SAUGEN et al., 1997).

Este paradigma, na normalização através de percentual da CVM parte do pressuposto de que o ambiente intracelular durante o exercício na mesma intensidade relativa à CVM, sejam iguais entre indivíduos. Embora, Kellawan e Tschakovsky, (2014b) sugeriram que a seleção de intensidades de exercícios pelo percentual da CVM de um indivíduo, pode não ter relação com domínios de intensidade de exercícios, o que pode levar os sujeitos a exercitarem-se em diferentes níveis de demanda metabólica, gerando um distúrbio metabólico desproporcional (SAUGEN et al., 1997).

Em um estudo recente, Fiedler et al. (2016) analisaram a resposta da PCr em indivíduos que executaram dois protocolos diferentes de flexão plantar em um equipamento de ressonância magnética, ambos durante contração isométrica contínua. No primeiro protocolo realizado durante 5 minutos a 40%CVM, houve queda da PCr (77%) para o músculo gastrocnêmico e (18%) para o sóleo, com cinco indivíduos chegando a valores abaixo de (14%). No segundo protocolo, no qual foi realizado um aumento progressivo de 20% para 60%CVM durante 3 minutos, também houve semelhança na variação do distúrbio metabólico entre indivíduos para o mesmo aumento de carga relativa, enquanto alguns indivíduos atingiram ligeira queda na PCr (16%) outros obtiveram depleção significativa (95%) para o gastrocnêmico, e o mesmo ocorreu para o sóleo (4% a 58%). A maior queda na PCr para o gastrocnêmico, ocorreu segundo os autores, pela maior participação deste músculo durante a flexão plantar com o joelho estendido. Com isso, as alterações metabólicas manifestadas durante o exercício através da depleção PCr entre indivíduos na mesma carga relativa, aparentam variar significativamente. Portanto,

além dos aspectos mencionados anteriormente, a posição do corpo na qual é realizado o exercício pode também influenciar na resposta metabólica dos músculos envolvidos neste movimento, já que a contribuição dos mesmos pode ser diferente ao se modificar a posição articular.

Em um outro estudo, Saugen et al. (1997) verificaram que a magnitude da queda de PCr ao longo do tempo foi diferente entre os indivíduos, durante a contração submáxima isométrica intermitente dos músculos EJ, a 40% CVM, com ciclo de esforço - pausa de 60% (6 s contração – 4 s relaxamento). Três dos oito sujeitos que participaram do estudo apresentaram respostas mais brandas na depleção de PCr, reduzindo para (~20%, 43%, 45%) do total e mantiveram a estabilização, enquanto que os outros cinco sujeitos reduziram para (~28%, 10%, 8%, 8%, e 5%,) e mantiveram a queda até a exaustão. Portanto, a normalização da intensidade através da CVM individual, pode ser um importante fator que pode determinar as diferenças na tolerância ao exercício, possivelmente por conta da utilização de diferentes magnitudes das reservas de substratos energéticos ou mesmo diferentes fontes energéticas, durante a comparação entre distintos grupos musculares na mesma intensidade relativa.

No entanto, ainda há pouca informação na literatura referente aos mecanismos que podem determinar estas diferentes respostas entre distintos grupos musculares com intensidades normalizadas através da %CVM. O melhor entendimento sobre estas variações de tolerância ao exercício entre diferentes grupos musculares pode contribuir para uma maior compreensão dos mecanismos associados à tolerância ao exercício, bem como auxiliar na elaboração de protocolos de treinamento e avaliação que levem em consideração estas diferenças.

3.2 Domínios de intensidade de exercício

Durante exercícios que envolvem grandes grupos musculares, como por exemplo o ciclismo e a corrida, o método não invasivo de análise de troca gasosa tem sido amplamente utilizado para identificar o consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) bem como o limiar ventilatório (XU e RHODES, 1999; GAESSER e POOLE, 1996; DIMENNA e JONES., 2009), que são índices tradicionalmente utilizados para a avaliação da aptidão aeróbia.

A resposta do consumo de oxigênio (VO_2) e dos metabólitos musculares obtidos durante o exercício através da normalização por percentuais do VO_{2max} (GAESSER e POOLE, 1996; CAPUTO e DENADAI, 2003) durante o exercício varia em função do domínio de intensidade que o mesmo é realizado (BURNLEY e JONES, 2007; GAESSER e POOLE, 1996). Os domínios de intensidade do exercício correspondem a faixas de intensidade de exercício nas quais o padrão de resposta de variáveis como o VO_2 e a concentração de lactato sanguíneo (LS) tendem a ser similares. Quatro domínios de intensidade foram identificados na literatura. O domínio moderado, que corresponde a intensidades de exercício até o limiar anaeróbio (WASSERMAN et al., 2012; BURNLEY et al., 2007), muitas vezes identificado pelo primeiro limiar ventilatório (LV1) ou o limiar de lactato (LL) (GAESSER et al., 1996). Abaixo destes pontos, o exercício pode ser sustentado por um período prolongado, com predominância do metabolismo aeróbio, estabilização do VO_2 e do lactato sanguíneo, sem significativas perturbações metabólicas (WASSERMAN et al., 2012).

Em intensidades acima do LV1 ou LL, o domínio é classificado como pesado (XU e RHODES, 1999). O limite superior deste domínio de intensidade do exercício é a PC, que é determinada pela assíntota da relação hiperbólica da potência vs. tempo, e de acordo com o modelo de PC proposto por Monod e Scherrer (1965) a intensidades de exercício abaixo da PC pode ser sustentada por um período indefinido de tempo, desde que os estoques de substratos para a ressíntese de ATP pelo sistema oxidativo estejam disponíveis (MORITANI et al., 1981; MONOD e SCHERRER, 1965; BOWEN et al., 2010). No domínio pesado de exercício, ocorre aumento e uma estabilização tardia do VO_2 , e o lactato sanguíneo também apresenta valores mais elevados, porém também com estabilização (XU e RHODES, 1999; GAESSER e POOLE, 1996). Já o exercício no domínio severo é o único caracterizado pela indução à potência aeróbia máxima (VO_{2max}) (BILLAT e KORALSZTEIN, 1996), sendo o VO_2 projetado exponencialmente ao seu valor máximo e a concentração de lactato sanguíneo aumentada abruptamente até a exaustão ocorrer (JONES et al., 2008; VANHATALO et al., 2016).

Além destas alterações, há também um aumento contínuo da concentração de creatina livre (Cr), que, juntamente com o aumento do lactato sanguíneo, indica a fosforilação em nível de substrato, e uma acidose metabólica menos controlável (GAESSER e POOLE, 1996). Finalmente, no domínio extremo, os distúrbios

metabólicos continuam a ocorrer e a exaustão ocorre antes que o $VO_2\text{max}$ seja atingido (POOLE et al., 2016).

Portanto, as diferenças acentuadas tanto na resposta do VO_2 , bem como as respostas metabólicas e neuromusculares durante o exercício são determinadas, pelo menos em parte, pelo aumento da intensidade do exercício (JONES et al., 2008; VANHATALO et al., 2016). Assim, a determinação dos domínios de intensidade parece ser importante, pois possibilita delimitar zonas de intensidades que determinam respostas fisiológicas bastante distintas, o que pode ter implicações no controle dos efeitos do treinamento, e também auxiliar na elaboração de programas individualizados de treinamento (DENADAI e GRECO, 2005), bem como contribuir para o melhor entendimento dos possíveis mecanismos subjacentes ao processo de exaustão.

3.3 Modelo da potência crítica

Hill (1925) introduziu originalmente o estudo da relação hiperbólica entre a intensidade média e o T_{lim} usando a média dos tempos de desempenho de recordes mundiais em uma variedade de distâncias em nadadores e corredores, homens e mulheres. A relação entre a potência / velocidade e o tempo tem sido amplamente reconhecida como não linear, ou seja, à medida que a intensidade aumenta o T_{lim} diminui de forma curvilínea. Conseqüentemente, intensidades em tarefas relativamente baixas podem ser sustentadas por longas durações, mas o T_{lim} diminui rapidamente durante intensidade bem elevadas. Esta relação é frequentemente referida como a curva de Rohmert, em homenagem a Walter Rohmert que realizou a modelagem matemática de uma curva de fadiga durante uma contração isométrica contínua, na década de 1960.

Além do fato de já ter sido estudada em exercícios que envolvem grandes grupos musculares e também nos exercícios localizados, uma característica fundamental desta relação é sua aparente universalidade, sendo aplicada a diferentes espécies de animais, como por exemplo o caranguejo (HERREID e FULL, 1983), salamandra sem pulmão (FULL, 1986), cavalo (LAUDERDALE e HINCHCLIFF, 1999) e rato (BILLAT et al., 2005; COOP et al., 2010).

A partir da assíntota da relação hiperbólica potência vs. tempo, (MONOD e SCHERRER 1965) determinaram uma intensidade de exercício que expressa o

limite superior em carga constante que, teoricamente, pode ser mantido indefinidamente sem exaustão, baseando-se predominantemente no fornecimento de energia aeróbia renovável, o qual foi denominado força crítica, e o grau de curvatura constante conhecido como W' , o qual reflete a capacidade de trabalho que pode ser realizado acima da força crítica (MONOD e SCHERRER, 1965; POOLE et al., 2016).

Moritani et al. (1981) foram os primeiros a estenderem o conceito do modelo de força crítica para exercícios que envolvem grandes grupos musculares, nos quais a variável pode ser denominada PC ou velocidade crítica. Hoje é conhecido que a PC pode variar consideravelmente entre indivíduos em função de fatores como saúde, doença, idade, aptidão física e treinamento (POOLE et al., 2016).

A relação potência vs. tempo também pode ser matematicamente ajustada a uma relação linear, utilizando o trabalho (área embaixo da curva) e o tempo de exaustão, sendo que a inclinação da reta da regressão linear representa a PC, e o intercepto no eixo (y) do gráfico representa o W' (POOLE et al., 2016).

Tradicionalmente, são utilizados três modelos matematicamente equivalentes para descrever a relação, força-tempo ou potência-tempo e trabalho-tempo e derivar as estimativas dos parâmetros da relação (PC e W') (HILL, 1993). Os 3 modelos são:

Modelo não linear (Tempo de Potência): $\text{Tempo} = W' / (\text{Potência} - \text{PC})$;
(1)

Modelo Linear (Potência-1/ tempo): $\text{Potência} = \text{PC} + (W' \cdot 1/\text{Tempo})$;
(2)

Modelo Linear (Trabalho-Tempo): $\text{Trabalho} = W' + (\text{PC} \cdot \text{Tempo})$.
(3)

Geralmente os parâmetros PC e W' são obtidos através de 3 a 5 testes de exercícios até a exaustão, em que a intensidade varia de acordo com o T_{lim} , que varia em torno de 2 a 15 min, realizados em dias separados (CALIS e DENADAI, 2000).

Há um conjunto substancial de evidências que indicam que um único teste de ciclismo realizado no modo *all-out* de 3 minutos contra resistência fixa é válido para estimar os parâmetros do modelo de potência crítica (potência crítica e W') determinados no protocolo convencional (isto é, exercício em taxa de trabalho constante) (VANHATALO et al., 2007, 2008).

Durante este protocolo, a capacidade de trabalho finita é utilizada continuamente, de modo que o trabalho realizado acima do PC é semelhante ao W' e o platô na saída da potência é a PC. Curiosamente, a bioenergética do músculo esquelético (ou seja, fontes e taxas de síntese de ATP) e as magnitudes da perturbação metabólica intramuscular (p. ex., pH e Pi) durante o exercício no modo *all-out*, tanto no ciclismo de 3 minutos como durante contrações isométricas intermitentes de 5 minutos, parecem ser muito semelhantes (BROXTERMAN et al., 2017).

Similar ao modelo *all-out* isométrico (BURNLEY, 2009; BURNLEY, VANHATALO, JONES, 2012) têm sido aferidos os parâmetros de TC e W' em outros grupos musculares. Por exemplo, Kellawan e Tschakovsky, (2014b); Broxterman et al., (2015) analisaram a utilização de um único teste no modelo *all-out* realizado com contrações isométricas intermitentes nos músculos do antebraço, através de preensão manual.

Com isso, é natural e tentador a possível comparação em valores relativos na queda da força de torque no final do teste, e conseqüentemente a possibilidade de existir diferenças nos valores de tempo de tolerância normalizados através do TC e não pela %CVM, em músculos com diferentes tamanhos e níveis de força máxima. Embora, não seja possível fazer uma comparação direta dos dados obtidos nos dois estudos citado acima, pois o ciclo esforço-pausa pode influenciar os valores de PC / TC (POOLE et al., 2016; RASHEDI e NUSSBAUM, 2016; PETHICK, WINTER, BURNLEY, 2015) e dificultar a compreensão dos dados. Mas a utilização deste modelo para se analisar a tolerância ao exercício em diferentes grupos musculares pode ser interessante, já que este também pode permitir que se analise os grupos musculares na mesma intensidade metabólica, na mesma condição de ciclo esforço-pausa. Tal procedimento, permitiria tanto a identificação quanto a comparação da intensidade do exercício em termos de medida da capacidade de realização de trabalho acima da PC em distintos músculos de forma isolada. O que poderia ser

interessante, além da utilização de um percentual da CVM (%CVM) (FREY LAW e AVIN, 2010; NEYROUD et al., 2013).

Tem sido proposto que o TC represente uma "fase de transição" tanto na função metabólica (VANHATALO et al., 2016; BROXTERMAN et al., 2017) quanto neuromuscular, devido às respostas específicas e distintas abaixo e acima do TC (BURNLEY, VANHATALO, JONES, 2012). Abaixo do TC, os pesquisadores propõem que o sistema cardiovascular parece ser estruturado para alcançar o fluxo necessário em um trabalho mecânico de baixa intensidade, e o sistema neuromuscular se ajusta para produzir o torque necessário no decorrer do tempo, em uma menor taxa metabólica possível. Fato o qual, abaixo do TC, isso é conseguido através do recrutamento de unidades motoras de baixo limiar de excitabilidade e resistentes à fadiga (BURNLEY, VANHATALO, JONES, 2012). Acima do TC, as perturbações metabólicas não podem ser estabilizadas e ocorre uma necessidade de recrutamento progressivo de unidades motoras adicionais. Segundo Burnley, Vanhatalo, Jones, (2012), isto ocorre provavelmente através do recrutamento de unidades motoras com limiares mais altos e mais fatigáveis, objetivando a manutenção das demandas de torque submáximo necessário acima do TC. Assim, o TC parece ser um importante indicador dos domínios de intensidade de contração com implicações para os perfis de resposta metabólica e neuromuscular. Portanto, a aplicação e posterior análise das respostas fisiológicas acima e abaixo do TC em músculos com diferentes forças máximas absolutas, poderia ajudar a explicar os possíveis mecanismos que podem estar, pelo menos em parte, associados às diferenças existentes no T_{lim} entre distintos grupos musculares.

3.3.1 Tolerância ao exercício realizado acima da PC

Na literatura, tem sido considerado que o W' envolve fosfatos de alta energia, energia derivada da glicólise anaeróbia, juntamente com uma pequena quantidade de energia aeróbia ligada às reservas intramusculares de O_2 (JONES et al., 2008; VALLI et al., 2011). A quantidade de energia armazenada (por exemplo, PCr) dentro do músculo ativo é, em parte, dependente do tamanho do músculo ativo. Em função disso, possivelmente grupos musculares que apresentem grandes forças máximas, apresentariam maiores valores de W' e conseqüentemente, maiores valores de T_{lim}

durante o exercício realizado no domínio severo. De fato, Miura et al. (2002) encontraram uma correlação significativa entre o W' e a circunferência de coxa, sugerindo que uma grande massa muscular tende a gerar um elevado W' , antes da exaustão. Outros fatores que podem também contribuir para explicar a tolerância ao exercício são o modo e as condições do exercício físico, bem como da aptidão física e das características dos participantes envolvidos (POOLE et al., 2016).

Como mencionado anteriormente, no domínio severo de exercício, não há estabilização do VO_2 , da resposta ácido-base sanguínea e da atividade neuromuscular (JONES et al., 2008; POOLE et al., 1988), e conseqüentemente há um menor tempo de tolerância (POOLE et al., 2016). Vanhatalo et al., (2016) mostraram que os maiores valores de W' (19,4 kJ) estavam associados com as mais altas concentrações de PCr (42,6 a 24,2 mmol (kg d.w.)⁻¹, pH (7,11 a 6,84), e lactato sanguíneo (34,8 a 95,6 mmol (kg d.w.)⁻¹) no final do exercício, com o T_{lim} alcançando 740 s. Enquanto que essas variáveis mudaram com o tempo durante intensidade acima da PC (+5%), abaixo (-5%) as mesmas permaneceram estáveis entre exercícios com durações de 720 s e 1440 s, atingindo valores de PCr (42,6 a 49,4 mmol (kg dw)⁻¹), lactato sanguíneo (34,8 a 35,5 mmol (kg·dw)⁻¹), e pH (7,11 a 7,10) estáveis. Estes dados corroboram com a idéia da fosforilação em nível de substrato durante exercícios acima PC, e sugerem que os mecanismos associados ao W' provavelmente estão, pelo menos em parte, relacionados à capacidade glicolítica muscular e à capacidade de utilização da PCr.

Monod e Scherrer (1965), caracterizando originalmente a relação força-tempo, sugeriram que a PC depende das condições circulatórias no músculo, enquanto que o W' é determinado por mecanismos intramusculares anaeróbios (com exceção dos estoques de O_2). Deste modo, qualquer intervenção que altere a distribuição de O_2 (isto é, redução do fluxo sanguíneo) para o músculo esquelético ativo poderá alterar a PC (VANHATALO et al., 2010), com presumivelmente nenhum ou pouco efeito no W' (BROXTERMAN et al. 2015). De fato, Broxterman et al. (2015) verificaram uma manutenção do trabalho realizado no exercício severo após a oclusão do fluxo sanguíneo dos músculos flexores do punho nas condições controle (459 s) e ocluído (470 s). Além disso, Miura et al. (2000) verificaram redução do W' (de 12,836 para 10,336 kJ) após a depleção de glicogênio

Por outro lado, em um outro estudo, Valli et al., (2011) verificaram que a 5.050 m de altitude, durante uma oclusão sistêmica, houve uma redução de 45% no valor

de W' . O que não corrobora com valores de estudos com oclusão muscular periférica do membro avaliado, em nível do mar. A pesquisa apontou que as reservas de O_2 (predominantemente sob a forma de O_2 venoso e muscular) são menores em altitude, devido a oclusão nesta condição ser sistêmica. E assim, a nível do mar, na condição de oclusão do membro avaliado, a restrição de O_2 é parcial e localizada, com isso os estoques de O_2 são tipicamente quantificadas dentro do volume proposto de reservas de energia anaeróbia representada pelo W' , pois não são medidas e computadas separadamente através da avaliação de troca de gás pulmonar durante o exercício.

O consenso é de que a falha da tarefa no domínio severo está associada à utilização completa do W' e a obtenção de um meio metabólico muscular intolerável (CHIDNOK et al., 2013; VANHATALO et al., 2010). Segundo Poole et al., (2016), a performance no domínio severo é limitada por diversos aspectos, pelo alcance do VO_{2max} , depleção de limitados substratos intramusculares (PCr, glicogênio muscular) bem como do acúmulo de metabólitos relacionados à fadiga (íons H^+ , Adenosina difosfato (ADP), P_i , e pH), e/ ou uma possível ativação de neurônios sensitivos aferentes dos grupos III e IV (AMANN et al., 2011).

Tem sido proposto que a fadiga periférica é o evento crítico na falha da tarefa (AMANN et al., 2006, AMANN e DEMPSEY, 2008) e que os aferentes musculares do grupo III e IV fornecem *feedback* inibitório dos músculos locomotores ao sistema nervoso central (TAYLOR e GANDEVIA, 2008), influenciando a regulação da movimentação motora central durante o exercício fatigante, além do que, a redução do pH muscular e o aumento de P_i , têm sido repetidamente implicados na diminuição da velocidade de encurtamento, bem como na redução da força ou potência das fibras musculares durante exercícios de alta intensidade (ALLEN, LAMB, WESTERBLAD, 2001). Portanto, o acúmulo de metabólitos provenientes do metabolismo energético utilizado, desempenha um papel fundamental na determinação do momento de exaustão (TAYLOR e GANDEVIA, 2008; AMANN et al., 2013).

Tem sido ainda proposto que uma redução na unidade motora central, ou seja, uma redução na movimentação descendente voluntária do córtex motor primário, indiretamente medido por eletromiografia (EMG) (AMANN et al., 2013), restringe o desenvolvimento da fadiga periférica a um certo "limiar crítico" associado a um determinado nível de perturbação metabólica intramuscular (AMANN et al.,

2006). Assim, de acordo com esta hipótese, os seres humanos não podem ultrapassar ou exceder um nível crítico de fadiga periférica no músculo ativo, o chamado “limite crítico de fadiga periférica” (AMANN et al., 2006; AMANN e DEMPSEY, 2008).

Como resultado, quando o limite crítico de fadiga periférica é alcançado, o *feedback* dos aferentes musculares do grupo III e IV reduz a movimentação do *drive* motor central e, portanto, a intensidade do exercício durante o exercício realizado na forma *self-paced* (AMANN e DEMPSEY, 2008), ou desencadeia a falha da tarefa durante o exercício de carga constante (AMANN et al., 2011). Como por exemplo Amann et al., (2011), através bloqueio seletivo de aferentes sensoriais com injeção de fentanil intratecal na coluna, evidenciaram maiores níveis de fadiga periférica em comparação com solução placebo no final do exercício. Nesta perspectiva, Teixeira et al., (2017) sugerem que exercício em alta intensidade 70% CVM, em combinação com restrição do fluxo sanguíneo durante os intervalos de repouso aumenta a concentração de lactato no sangue e diminui a amplitude de EMG, em comparação com oclusão durante a contração ou mesmo sem oclusão. Indiretamente indicando que a ativação do músculo parece ser impactada pelo estresse mecânico, e pode ser reduzida pelo estresse metabólico.

No entanto, um limiar crítico de fadiga periférica não é um achado universal, levando alguns autores a questionar a importância da fadiga periférica na regulação do desempenho do exercício (MARCORA e STAIANO, 2010; PÉRIARD et al., 2014; FROYD et al., 2016; NEYROUD et al., 2013). Assim, mais pesquisas são necessárias afim de um melhor entendimento com relação aos possíveis mecanismos que controlam a exaustão neste domínio.

3.3.2 Tolerância ao exercício realizado abaixo da PC

Quando a intensidade excede o LL mas não ultrapassa a PC / TC, ocorre uma maior tolerância ao exercício (COYLE et al., 1986). Em indivíduos saudáveis, as intensidades associadas a este domínio de exercício podem variar entre 60% a 85% VO_2max para a corrida ou ciclismo por exemplo, ou abaixo de ~28% a ~38% CVM para exercício isométrico de extensão de joelho (BURNLEY, 2009).

Diferentemente do domínio severo, abaixo da PC / TC o domínio pesado é considerado representar uma participação do metabolismo oxidativo mais elevada

(POOLE et al. 2016), com menores participações dos sistemas anaeróbios, bem como a estabilização dos marcadores fisiológicos, tais como, troca gasosa pulmonar, lactato sanguíneo, PH, metabólitos musculares e ativação neuromuscular (BURNLEY, VANHATALO, JONES, 2012; JONES et al., 2008, 2010).

Jones et al. (2008) durante extensão do joelho com uma perna, a uma cadência de 40 rpm, em intensidade de exercício -10% da PC, verificaram que as concentrações de PCr e pH atingiram valores constantes dentro de 3 min e o Pi dentro de 1 min, a partir do início do exercício e mantiveram constantes durante 20 min de exercício, o qual obtiveram um T_{lim} de 60 min. Estes dados corroboram com Vanhatalo et al. (2016) que verificaram que as variáveis metabólicas mudaram com o tempo durante intensidade acima da PC (+5%), e abaixo (-5%) permaneceram estáveis entre (720 e 1440 s) para todos os indivíduos. Para o VO_2 , Broxterman et al. (2013) mostraram que nenhum sujeito foi capaz de completar 15 min durante a corrida acima da VC, variando entre (4 – 11 min), enquanto todos os sujeitos podiam completar 15 min durante a corrida abaixo de VC. Neste estudo, o VO_2 a partir dos 180 s de teste, não foi estatisticamente diferente do final do exercício durante a corrida abaixo da VC (-5,4%), indicando a obtenção de um estado estável do VO_2 , e ao final do exercício alcançou uma média de 86% VO_{2max} . Fato o qual não ocorreu acima da VC (+12,5%) durante o domínio severo, alcançando média de 97% VO_{2max} no final do exercício.

A redução temporária do desempenho muscular máximo ou submáximo pode ser atribuída a fatores centrais que limitam a descarga neural para a contração muscular, bem como a fatores periféricos que ocorrem na junção neuromuscular ou distal à mesma e que envolvem frequentemente perturbações metabólicas e iônicas que reduzem a capacidade do músculo para responder à estimulação neural (FITTS et al., 1994; ENOKA et al., 2008).

Burnley et al. (2012) demonstraram que embora a fadiga central se desenvolva acima do TC, essa parece se desenvolver mais abruptamente durante os períodos mais longos de exercício, sugerindo que o tempo sobre a tarefa, e não a intensidade contrátil por si só, tende a ser responsável pela exaustão. Durante contrações abaixo do TC -10%, -20%, integral do sinal eletromiográfico (IEMG) no final ou falha do exercício foi significativamente menor do que a iEMG produzida durante CVM posteriormente ao término do exercício. Para a intensidade -20% TC, ocorreu apenas um aumento modesto na amplitude da iEMG, à medida que as

contrações progrediram. A diferença entre a iEMG do primeiro minuto de exercício e no final ou exaustão não foi significativamente diferente. Estes dados suportam a robustez do modelo de PC como um delimitador de domínios de intensidade de exercício, nos quais as variáveis metabólicas e neuromusculares durante intensidade abaixo do TC podem ser rapidamente estabilizadas e sustentadas.

Pesquisas recentes têm demonstrado que a fadiga periférica em exercício abaixo da PC também se desenvolve progressivamente, embora mais lentamente em comparação com a observada durante o exercício de intensidade severa (BURNLEY, VANHATALO, JONES, 2012; BURNLEY e JONES, 2016). Algumas das possibilidades no processo que pode sustentar o desenvolvimento da fadiga periférica durante exercício pesado, incluem a produção de espécies reativas de oxigênio, acúmulo de íons potássio (K^+) e a depleção de glicogênio, que sozinho ou em combinação, resultam em falha no acoplamento excitação-contração em nível de fibra muscular (ALLEN, LAMB, WESTERBLAD, 2008). Portanto, além de respostas metabólicas distintas, a resposta neuromuscular pode ser diferente nos exercícios realizados nos domínios pesado e severo, sendo que abaixo do TC os parâmetros neuromusculares (Ex. IEMG) tendem a uma rápida e contínua estabilização no decorrer do tempo.

4 JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE

Diante da constatação de que o T_{lim} pode variar conforme o grupo muscular utilizado, e de que a normalização da intensidade de exercício com base na %CVM pode não proporcionar um ambiente fisiológico similar entre indivíduos na mesma intensidade relativa (KELLAWAN e TSCHAKOVSKY, 2014b). Fica claro que a normalização através da CVM individual pode levar os sujeitos a exercitarem-se em diferentes condições metabólicas, dificultando um melhor entendimento dos mecanismos subjacentes as diferentes performances entre distintos grupos musculares. Assim, faz-se necessária a exploração neste campo promissor do modelo TC como uma ferramenta de normalização da intensidade. Uma vez que já é bem estabelecido as distintas respostas tanto metabólicas quanto neuromusculares abaixo e acima do TC (BURNLEY, VANHATALO, JONES, 2012).

Como a TC tem sido considerada um delimitador dos domínios de intensidade pesado e severo, que possuem respostas fisiológicas e durações no exercício específicas em cada domínio, o modelo do TC possibilita a comparação de diferentes músculos com diferentes forças máxima, no mesmo domínio de intensidade (JONES et al., 2008).

Já é conhecido que músculos grandes que geram maiores forças absolutas submáximas durante a contração alvo em carga constante, geram maiores pressões intramusculares e subsequentemente maiores restrições do fluxo sanguíneo, o que pode acarretar em menor T_{lim} (HUNTER et al., 2009).

O TC além de sofrer influência pela oferta de O_2 , o déficit na distribuição e conseqüentemente sua estabilização previamente ao torque, determina a demanda metabólica sustentável e sua intensidade correspondente (KELLAWAN et al., 2014a). Com isso, é esperado que o TC do músculo com maior força (EJ) seja relativamente menor, devido à dificuldade na oferta de O_2 , por consequência da maior compressão intra-muscular, por conta de seu tamanho.

Já acima do TC, há sugestões na literatura de que o T_{lim} durante exercício no domínio severo seja explicado pelo menos em parte, em função do esgotamento do W' (SKIBA et al., 2015), o que coincide com o esgotamento de substratos energéticos anaeróbios (PCr, ATP, glicogênio e oxigênio ligado à mioglobina) no músculo em trabalho. Evidências sugerem que o W' está correlacionado ao tamanho da massa magra livre de mineral local (BYRD et al., 2017) e área de secção

transversa (MIURA et al., 2002). A quantidade de energia armazenada (por exemplo, PCr) dentro do músculo ativo é, em parte, dependente do tamanho do músculo ativo. Em função disso, possivelmente grupos musculares que apresentem grandes forças máximas, apresentariam maiores valores de W' e conseqüentemente, maiores valores de T_{lim} durante o exercício realizado no domínio severo.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Sujeitos

Participaram deste estudo 11 voluntários do gênero masculino ($28,3 \pm 8,5$ anos, $83,4 \pm 16,4$ kg, $178,4 \pm 5,9$ cm) ativos, saudáveis, não fumantes, sem uso de medicamentos e que não tenham histórico de lesão ou dores nas articulações a serem analisadas no estudo. Todos os indivíduos foram informados sobre seus direitos como voluntários de pesquisa e também sobre o cronograma de atividades a ser realizado, assim como os possíveis riscos e benefícios inerentes aos procedimentos experimentais, mediante leitura e assinatura de um Termo de consentimento livre e esclarecido (ANEXO I). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do Instituto de Biociências, UNESP, Rio Claro – SP. Todas as sessões experimentais foram realizadas em um laboratório de temperatura controlada ($20 - 22^\circ \text{C}$) após um mínimo de 2 horas pós-prandial e 12 horas de abstenção de exercício e cafeína. Os testes foram realizados exclusivamente no período da manhã.

5.2 Critérios de inclusão e exclusão no estudo

Para participar do estudo os voluntários deveriam estar há pelo menos seis meses sem realizarem treinamento sistematizado de caráter aeróbio ou resistido. Todos os voluntários responderam ao “Questionário de Prontidão para Atividade Física - PAR- Q (1994)” (ANEXO II). Como critério para eliminação do voluntário do estudo, duas ausências de forma consecutiva aos dias de testes sem reposição imediata no dia posterior a segunda ausência.

5.3 Delineamento experimental

O experimento foi desenvolvido dentro de um período de no máximo quatro semanas. Durante esse período a ordem da coleta dos testes foi padronizada conforme descrito abaixo. Todos os participantes realizaram uma visita inicial de familiarização aos protocolos e para mensurar os dados antropométricos. Posteriormente, realizaram mais cinco visitas experimentais ao laboratório, separadas por pelo menos 48 horas de recuperação. Na primeira e segunda visitas

ao laboratório foram realizados os ajustes das posições individuais e a familiarização ao aparelho dinamômetro isocinético, para a avaliação do desempenho dos músculos FP e EJ, de forma aleatória. Posteriormente, nas duas sessões subsequentes, foi determinado o pico de torque isométrico (PTI) para os diferentes grupos musculares, de forma aleatória. Após a realização do teste para determinação da CVM, foi realizado um período de repouso de 30 minutos, e a seguir os participantes realizaram um teste *all-out* para determinação do TC. Nas cinco próximas sessões, foram realizados testes de esforço com intensidades submáximas para determinação do T_{lim} dos dois grupos musculares. Antes de todos os testes submáximos foram realizadas contrações voluntárias máximas isométricas, para a determinação do PTI. Todos os 9 testes foram realizados em ordem randômica. A Figura 1 apresenta o delineamento experimental do estudo.

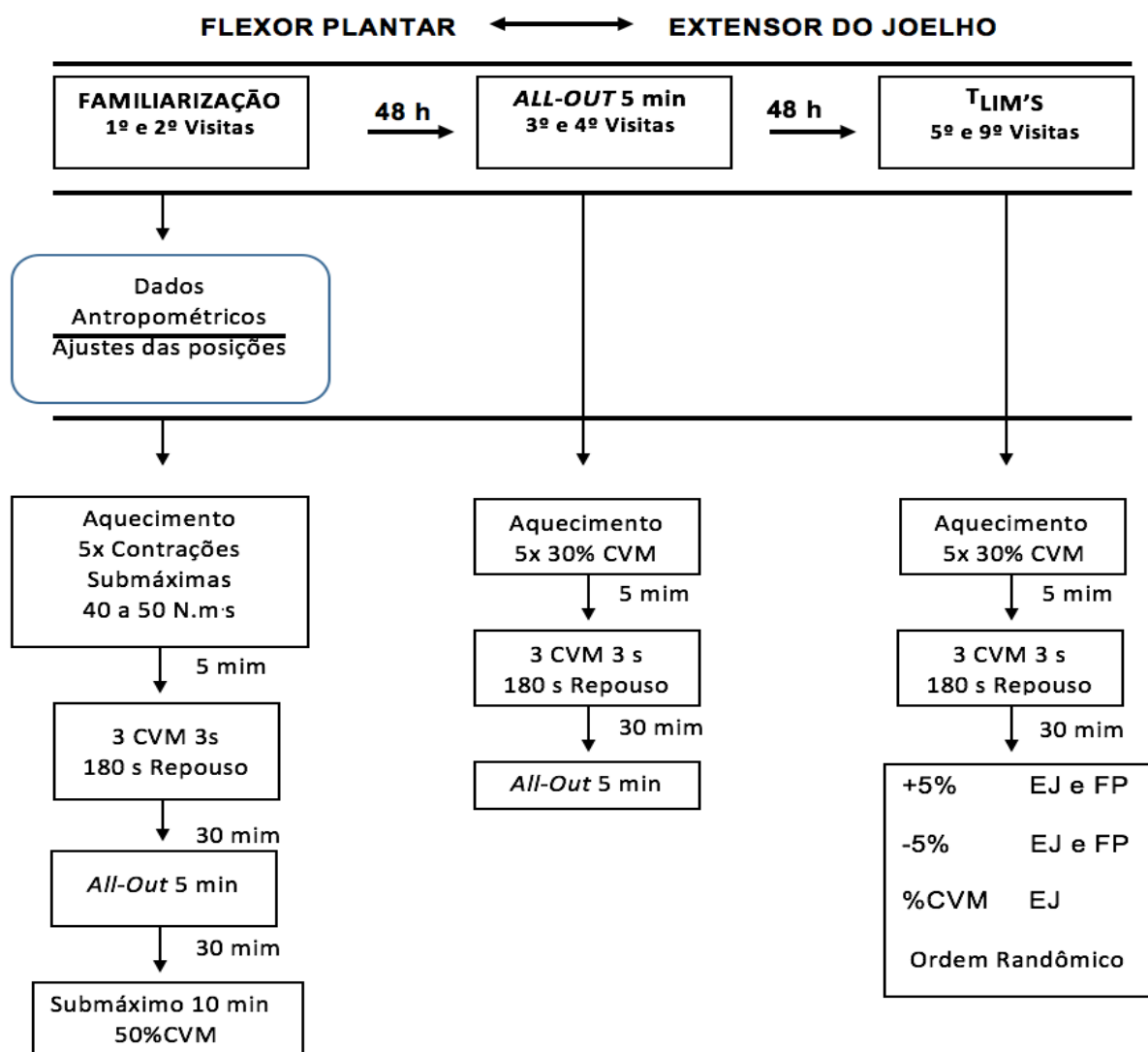


Figura 1. Delineamento Experimental

5.4 Dinamômetro isocinético

Todos os testes foram realizados em um dinamômetro isocinético (Biodex System 3®, Shirley, NY, USA) sincronizado a um módulo de aquisição de sinais biológicos (Miotool®, Miotec, Porto Alegre, Brasil) calibrado de acordo com as instruções do fabricante.

Para os músculos EJ os indivíduos permaneceram sentados na cadeira do dinamômetro isocinético, a perna direita foi posicionada no braço de alavanca do dinamômetro, com a posição de assento ajustada para assegurar que o epicôndilo lateral do fêmur direito estivesse centrado com o eixo de rotação do braço de alavanca. Os indivíduos permaneceram sentados com os ângulos de quadril e joelho relativos de 85° e 75°, respectivamente (extensão total é de 0°), que foram determinados utilizando um goniômetro. A perna estava posicionada no braço de alavanca acima do tornozelo e estabilizada usando uma cinta de velcro acolchoada, e alças firmemente seguras em toda a cintura e os ombros durante as contrações isométricas.

Para os músculos FP, os indivíduos foram posicionados deitados no equipamento. Os ângulos do quadril e do joelho foram mantidos, em aproximadamente 25° e 0° de flexão, respectivamente. Os sujeitos ficaram seguramente presos à cadeira por dois cintos cruzados sobre o tronco (do ombro ao quadril), um cinto na região do músculo peitoral e um no terço distal da coxa. O membro dominante foi fixado na prancha acessória pela articulação do tornozelo por meio de uma faixa de velcro.

O dinamômetro foi posicionado de modo que o eixo de rotação do braço mecânico do aparelho estivesse alinhado com o eixo de rotação da articulação do tornozelo. Para ambos os grupos musculares, as posições do assento foram anotadas durante a primeira visita e reproduzida em todas as visitas subsequentes.

5.5 Familiarização

Foram realizadas contrações voluntárias isométricas máximas com 3 s e submáximas de forma intermitente com ciclo de exercício de 3 s de contração por 2 s de relaxamento, em intensidade máxima (5 minutos) e submáxima (10 minutos), a

fim de familiarizar-se com o equipamento e a intensidade de contração de 3 s com base no visor do dinamômetro isocinético, indicando o nível de força a ser atingido.

5.6 Determinação do pico de torque isométrico (PTI)

Após realizado o aquecimento com 5 contrações isométricas submáximas (30% CVM), seguido de 5 min de descanso. O teste consistiu de 3 contrações isométricas máximas do membro inferior dominante com duração de 3 s e 180 s de intervalo entre cada contração. Os indivíduos foram instruídos a começar a contração o mais rápido e forte possível, mantendo o esforço durante os 3 s. O maior valor atingido entre as três contrações foi considerado o PTI.

5.7 Teste *all-out* para a determinação do torque crítico e do impulso acima do torque crítico

Para a determinação do TC e do W' dos músculos EJ e FP os indivíduos realizaram um aquecimento através de 5 contrações isométricas submáximas (30% CVM), seguido de 5 min de descanso e posteriormente, os indivíduos foram incentivados a igualar ou exceder o valor de PTI durante as primeiras 3 contrações do teste. Durante o teste, os indivíduos foram a todo momento encorajados a atingir o pico de torque em cada contração, mas não foram informados sobre o tempo decorrido ou o número de contrações restantes. O teste foi encerrado após o ciclo de 60 contrações isométricas máximas intermitentes (3 s de contração e 2 s de recuperação) (BURNLEY, 2009). O TC foi determinado por meio da média dos valores de torque das últimas 6 contrações (BURNLEY, 2009) como visto na figura 2. O W' foi calculado através do impulso (área sob o gráfico torque vs. tempo) acima do TC (BURNLEY, 2009), como mostrado na figura 3.

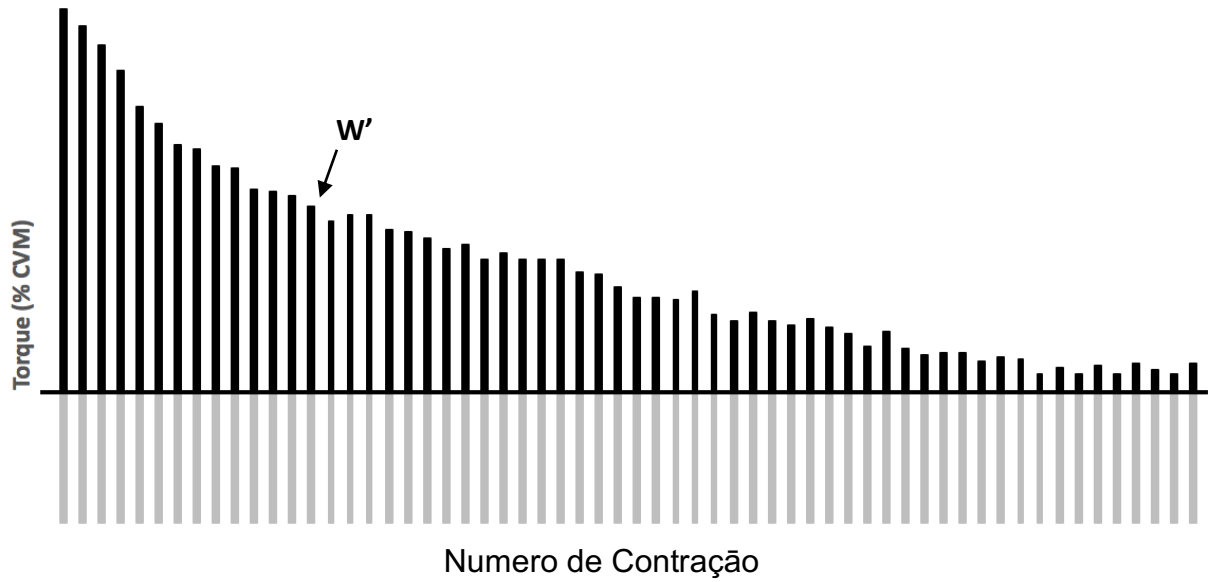


Figura 2. Valores de torque (% CVM) durante o teste *all-out* 5 min para o músculo EJ de um sujeito representativo. A linha preta representa o TC e W' = trabalho acima TC.

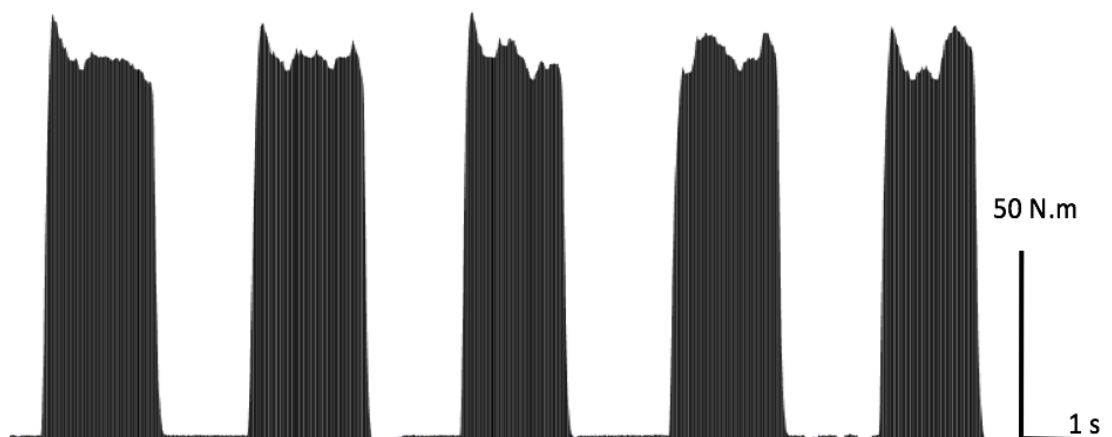


Figura 3. Torque de um sujeito representativo. A área sombreada dentro da curva do torque absoluto retrata o meio utilizado para o cálculo do impulso do torque (área sombreada).

5.8 Testes para determinação do tempo de tolerância (T_{lim})

Para a determinação do T_{lim} nos músculos EJ e FP, foram utilizadas as intensidades de +5% e -5% do TC para os EJ e FP. Foi calculada a intensidade, expressa em %CVM que corresponde a +5% TC para os FP, e posteriormente, foi realizado também um teste na mesma intensidade, expressa como %CVM para os EJ. Em todos os testes, após a realização do aquecimento e recuperação, os indivíduos realizaram um teste que consistiu em contrações de 3 s com 2 s de repouso, que foi realizado com intensidade constante, no qual os indivíduos foram instruídos e estimulados verbalmente a produzir o torque com base no visor do dinamômetro isocinético, indicando o nível de força a ser atingido durante cada contração. O teste foi interrompido quando o indivíduo não atingiu o torque requerido durante três contrações seguidas, apesar do incentivo verbal. Trinta minutos antes a realização do teste, foi realizado um teste para a determinação do PTI, conforme descrito anteriormente.

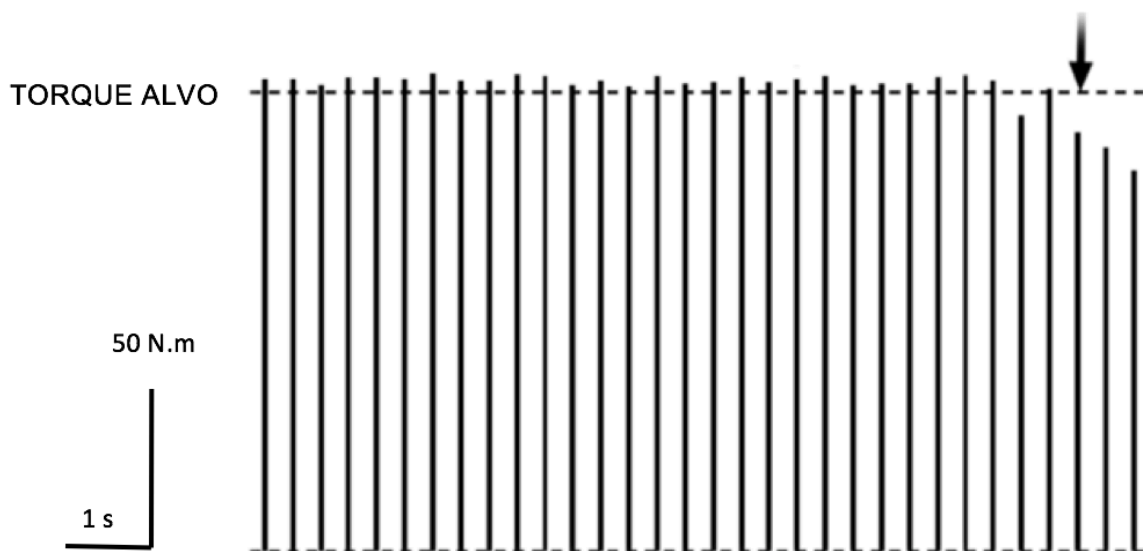


Figura 4. Perfil do torque durante a contração isométrica submáxima. A seta indica o momento do teste considerado como exaustão. A linha tracejada representa o torque alvo.

5.9 Análise dos dados

A análise dos dados foi realizada posteriormente em um computador pessoal. Os dados de torque, tanto do *all-out* 5 min como os T_{lim} foram analisados posteriormente aos testes, utilizando o programa MATLAB R2015b (*The MathWorks*), para isso foi determinado o torque máximo e médio, bem como o impulso sobre o torque de cada contração de 3 s.

O torque no final do teste *all-out* 5 min, foi definido de forma operacional como a média das últimas seis contrações no teste (os últimos 30 s, veja tópico 5.7).

O T_{lim} foi considerado como sendo a duração do exercício até a primeira das três contrações em que o sujeito for incapaz de alcançar a intensidade requerida (BURLEY et al., 2009) como mostrado na figura 4.

O cálculo do tempo de exaustão durante as contrações intermitentes, mostrou-se bem descrita por uma função hiperbólica força- tempo.

$$T_{lim} = W' / P - PC \quad (1)$$

Onde, o T_{lim} previsto é resultado da divisão do trabalho (W') realizado durante o teste *all-out* 5 min, através do resultado da subtração entre a potência alvo acima da PC e a própria PC.

5.10 Análise estatística

Os dados são apresentados como médias \pm DP. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Um teste t de Student para dados pareados foi usado para comparar as variáveis CVM, TC, W' e o T_{lim} entre os grupos musculares. A relação entre o T_{lim} previsto no modelo de potência crítica e o T_{lim} realizado foi avaliado usando o coeficiente de correlação produto-momento de Pearson. O nível de significância foi definido em $p < 0,05$ e os tamanhos de efeito (TE) foram calculados.

6 RESULTADOS

6.1 Valores de CVM, TC e W'

Os valores médios \pm DP de CVM realizada previamente ao teste no modelo *all-out* 5min foram de 294 ± 42 N·m e 184 ± 37 N·m para EJ e FP, e foram diferentes significativamente ($p < 0,05$). Os valores de CVM durante as primeiras contrações do *all-out* 5 min foram estatisticamente semelhantes aos valores produzidos previamente ($p > 0,05$), concomitante ao tamanho do efeito ($TE = 2,19$), sugerindo que os indivíduos atingiram o máximo da força desde o início do teste (Tabela 1). Os valores de CVM ($TE = 2,19$), TC absoluto ($TE = 0,47$), W' ($TE = 2,44$) foram estatisticamente menores para os flexores plantares do tornozelo em comparação ao quadríceps ($p < 0,01$), concomitante ao tamanho do efeito (TE), tabela 1, figura 5. No entanto, o TC expresso como uma porcentagem da CVM foi significativamente maior para o FP do que EJ ($p < 0,01$; $TE = 1,50$), apresentado na tabela 1, figura 6.

Tabela 1. Valores médios \pm DP da contração voluntária máxima (CVM), torque crítico em valor absoluto (TC/ N.m), torque crítico em valor relativo a CVM (TC %), impulso acima do torque crítico (W') para os EJ e FP.

	Pico de torque (<i>all-out</i> 5 min)		Torque Critico		
	N.m	% CVM	% CVM	N.m	W' (N·m·s)
EJ	$287,5 \pm 41$	97,7%	$29,0 \pm 8,1\%$	$84,4 \pm 24,3$	$7243,2 \pm 1942,9$
FP	$183,6 \pm 34^*$	98,6%	$40,9 \pm 7,7\%^{\#}$	$73,9 \pm 19,5^{\#\#}$	$3357,4 \pm 1132,3^{\#\#}$

Pico de torque (*all-out*); pico de torque alcançado nas três primeiras contrações do teste *all-out*. $\#p < 0,01$, $*p < 0,05$.

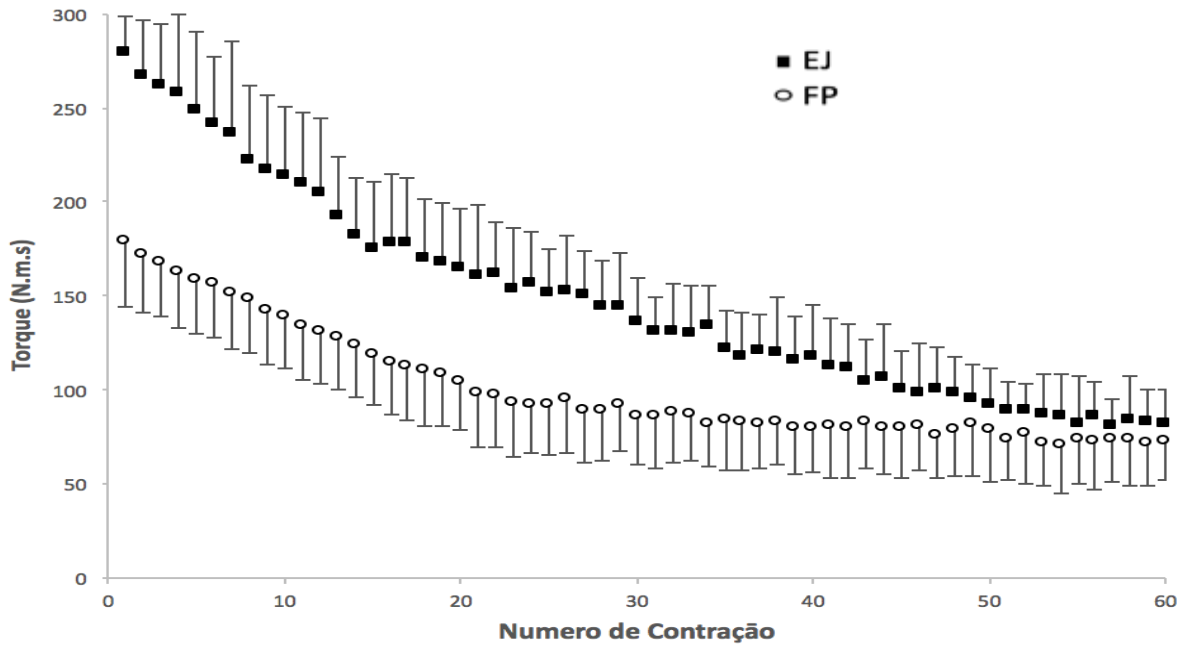


Figura 5. Valores médios \pm DP absolutos de torque dos extensores do joelho e flexores plantares durante o teste *all-Out* 5min.

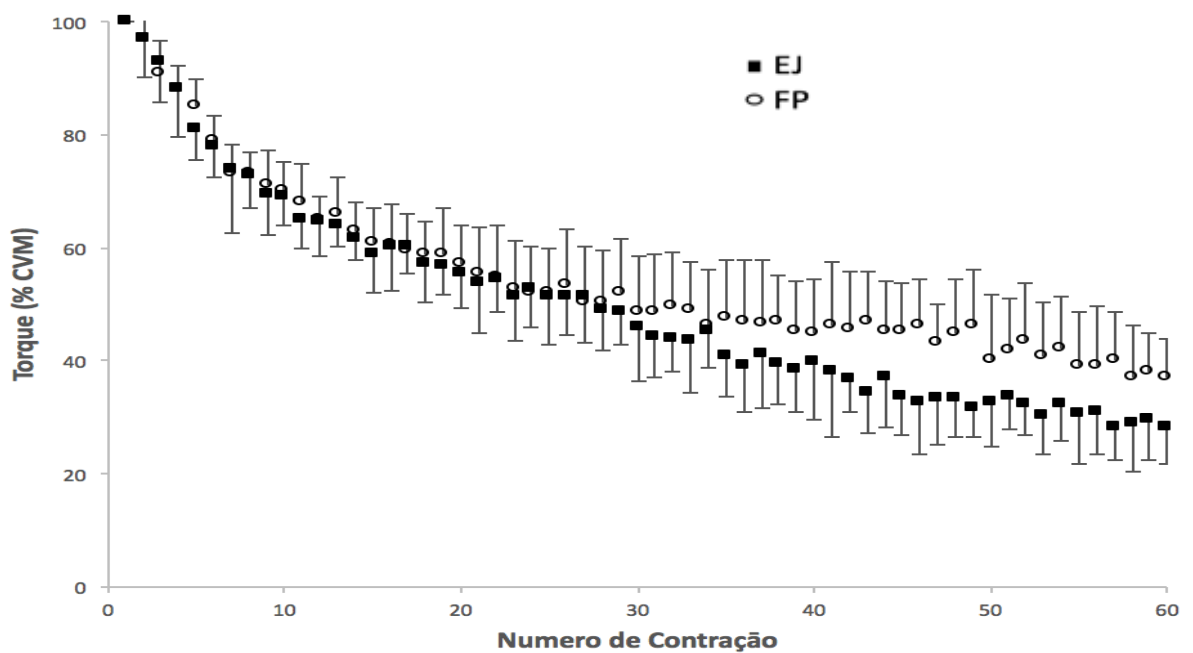


Figura 6. Valores médios \pm DP em percentual do torque dos extensores do joelho e flexores plantares durante o teste *all-out* 5min.

6.2 Valores de tempo de tolerância entre EJ e FP

A média \pm DP dos valores do T_{lim} obtido durante os testes de exaustão em +5%, -5% TC e %CVM são apresentados na Tabela 2. Não houve diferença significativa entre o T_{lim} realizado e o previsto pela equação para EJ e FP durante a condição de +5% TC. Além disso, foi observada correlação significativa entre o tempo limite realizado e previsto para EJ ($r = 0,66$) e FP ($r = 0,72$). Além de ter sido observado que o tempo limite em +5% TC foi significativamente menor para FP do que EJ ($p < 0,001$, $TE = 1,93$). No entanto, o T_{lim} do EJ e FP foram semelhantes na condição de -5% TC ($p = 0,45$ $TE = 0,01$), mas foi significativamente maior para FP do que EJ na condição normalizada pelo % CVM ($p < 0,001$ $TE = 1,08$), como mostrado na tabela 2.

Tabela 2. Valores médios \pm DP dos tempos de tolerâncias aos exercícios obtidos durante os testes de exaustão acima (+ 5% TC), abaixo (- 5% TC) e na mesma porcentagem da contração voluntária máxima (CVM similar) em relação a (+5% TC) do PF, realizado pelo EJ.

	$T_{lim} + 5\%$		$T_{lim} - 5\%$	Similar %CVM
	Realizado (seg)	Estimado (seg)	Realizado (seg)	Realizado (seg)
EJ	697,0 \pm 243,7	611,7 \pm 208,1	1030,2 \pm 495,4	156,7 \pm 104,3
FP	300,7 \pm 156,7*‡	255,0 \pm 78,6*	1028,3 \pm 514,4	

EJ - Extensores do Joelho; FP - Flexores Plantares. * $p < 0,05$ em relação ao EJ na mesma condição de exercício; ‡ $p < 0,05$ em relação à condição % CVM semelhante.

6.3 Razão e Correlações entre (TC/ CVM) e (W' / CVM).

A razão TC/CVM e as correlações entre W'/CVM, TC/CVM, estão apresentadas na tabela 3.

Tabela 3. Valores médios \pm DP da razão entre (TC/ CVM) e das correlações entre (W' / CVM) e (TC/ CVM) para FP e EJ.

	Razão TC/ CVM	Correlação W' / CVM	Correlação TC/ CVM
EJ	0,29	R = 0,67, p < 0,05	
FP	0,41	R = 0,62, p < 0,05	R = 0,71, p < 0,05
TE	1,50	1,25	1,50

EJ - Extensores do Joelho; FP - Flexores Plantares; TE - Tamanho do Efeito; Razão (TC/CVM); Correlação (W/CVM) e (TC/CVM).

7. DISCUSSÃO

Os principais objetivos deste estudo foram comparar os parâmetros estimados pelo modelo de torque crítico e a tolerância ao exercício durante o exercício realizado abaixo e acima de TC em grupos musculares com diferentes valores de CVM (ou seja, EJ vs. FP). Em consonância com pesquisas anteriores (HUNTER e ENOKA, 2001), verificou-se que a tolerância ao exercício é dependente da força máxima (ou seja, $T_{lim} FP > EJ$) durante o exercício no domínio de intensidade severo realizado com similar %CVM (~ 60%). No entanto, as conclusões principais e originais foram as seguintes:

- 1 Existem variações nos valores de TC e W' dos músculos extensores do joelho e flexores plantares. A CVM explica, pelo menos em parte, tanto a variabilidade individual quanto a diferença observada no TC dos músculos EJ e FP.
- 2 a tolerância ao exercício é dependente do W' (isto é, $EJ > FP$) e sofre influencia positiva do tamanho e CVM, quando a contração isométrica submáxima é realizada a uma amplitude similar (+5%) acima do TC.
- 3 a tolerância ao exercício é independente do tamanho e CVM do musculo ativo, quando a contração isométrica submáxima é realizada em amplitude similar (-5%) abaixo do TC.
- 4 a tolerância ao exercício é negativamente influenciada pelo tamanho e CVM do musculo ativo quando é normalizada através da CVM individual (ou seja, % CVM similar).

Tradicionalmente, uma dada %CVM tem sido utilizada para analisar o limite de tolerância durante o exercício de massa muscular pequena (FREY LAW e AVIN, 2010). Neste modelo, a tolerância ao exercício tem sido inversamente relacionada com a área de seção transversa e força máxima do músculo (HUNTER E ENOKA, 2001). O que corroborara com os dados obtidos neste estudo, pois o T_{lim} durante a

normalização pela % CVM (~ 60%) mostrou que o músculo com menor força máxima (FP <) resistiu significativamente por mais tempo. Similar a ideia de que maiores forças produzem maiores pressões intramusculares durante o processo de contração muscular e conseqüentemente maiores restrições do fluxo sanguíneo e oxigênio ao músculo ativo, limitando sua performance.

Embora, a principal implicação desses achados é de que a força máxima obtida durante a CVM influencia positivamente a tolerância ao exercício durante as contrações isométricas submáximas acima do TC, e somente quando as comparações entre diferentes grupos musculares ocorram em semelhantes amplitudes de intensidade acima do TC.

7.1 Validade do exercício intermitente isométrico realizado na forma *all-out*

Estudos na literatura têm mostrado que o teste de 3 min realizado no ciclismo na forma *all-out*, contra uma resistência fixa, é válido para estimar os parâmetros do modelo da potência crítica (CP e W') determinados pelo método tradicional (isto é, exercícios de carga constante) (VANHATALO et al., 2007, 2008). No teste realizado na forma *all-out* a capacidade finita de trabalho é continuamente utilizada, de forma que o trabalho acima da PC é similar ao W' e a potência no final do teste apresenta uma estabilização no valor similar à PC. Ao se analisar o exercício isométrico intermitente de 5 min realizado na forma *all-out*, Broxterman et al. (2017) verificaram que as respostas bioenergéticas musculares (isto é, fontes e taxas de síntese de ATP) e as magnitudes de perturbação metabólica intramuscular (ex., pH e Pi) foram similares às observadas durante o exercício de ciclismo de 3 min realizado também na forma *all-out*. Portanto, os protocolos realizados na forma *all-out* com a utilização de contrações isométricas parecem ser uma abordagem atrativa para se investigar as respostas fisiológicas em um único teste.

Poucos estudos analisaram a validade do teste isométrico de 5 min *all-out* para estimar os parâmetros do modelo da PC/ TC. Burnley, (2009) verificou que o TC durante contrações isométricas máximas repetidas dos músculos EJ não foi diferente e foi significativamente correlacionado ($r = 0,88$, $p = 0,004$) com o torque crítico estimado a partir do modelo impulso-tempo. Usando uma abordagem e grupos musculares diferentes (isto é, flexores do antebraço), Kellawan e Tschakovsky, (2014b) verificaram que o exercício isométrico de 10 min *all-out* é

válido para estimar os parâmetros do modelo do torque crítico. Em nosso estudo, o Tlim predito pelo TC e W' apresentou um bom nível de concordância com o Tlim real durante o exercício de intensidade constante acima do TC ($r = 0,97$, $p < 0,01$). Os dados do presente estudo confirmam e estendem a validade do teste isométrico intermitente de 5 min realizado na forma *all-out*, pois o tempo real não foi diferente e foi significativamente correlacionado com o Tlim predito pelo TC e W', independentemente do grupo muscular.

7.2 Determinação e comparação dos valores de TC e W' dos músculos extensores do joelho e flexores plantares

Reconheceu-se que a media do torque máximo sustentável durante o exercício intermitente varia aproximadamente em um terço (~22% a ~44%) da força voluntária máxima (BURNLEY, 2009; PETHICK, WINTER, BURNLEY, 2015) para o EJ durante o ciclo de esforço pausa (3 s contração – 2 s relaxamento), e de acordo com os dados deste estudo em torno da metade (~40%) da força máxima para os FP. O perfil de decaimento da força durante o teste de exercício em máximo esforço do EJ e FP foi consistente com os testes de esforço máximos anteriores usados para estimar torque crítico (BURNLEY et al., 2009; PETHICK, WINTER, BURNLEY, 2015). Burnley, (2009) mostrou que TC obtido durante 60 contrações isométricas intermitentes máximas (*all-out 5 min.*) com os extensores do joelho, não foram diferentes e significativamente correlacionadas ($p = 0,004$, $r = 0,88$,) com torque crítico estimado a partir do modelo tradicional impulso-tempo. Não diferente da queda durante as 3 primeiras contrações no modelo *all-out 5min*, de apenas (~3%) da CVM prévia, e a média das 6 últimas contrações variou em torno de ~29% para o EJ e 40% para o FP.

Partindo do pressuposto de que músculos grandes tendem a terem a performance limitada, por exercer maiores compreensões intra-musculares restringindo o fluxo sanguíneo e a oferta de O₂ (HUNTER e ENOKA, 2001), e que a oferta de O₂ estabilizada previamente ao torque determina a demanda metabólica sustentável ao musculo ativo (KELLAWAN et al., 2014a). É esperado que a queda da força fosse maior para o EJ, após 60 contrações isométricas máximas, e assim, a intensidade relativa associada a máxima demanda metabólica estável ocorreria em menores valores relativo ao máximo. O que corrobora com os valores expressados

neste estudo, sendo que o TC em percentual da CVM ficou relativamente menor para os EJ comparado ao FP. Assim, uma possível explicação com relação aos diferentes valores de TC (%CVM) obtidos neste estudo, é de que o tamanho/ força muscular parece influenciar negativamente a obtenção da demanda metabólica sustentável.

Em contrapartida, o tamanho/ força máxima mostrou influenciar positivamente nos valores de W' , pois o musculo grande (EJ) apresentou maiores valores de W' , fato qual já era esperado. E que o tamanho e força máxima muscular podem influenciar positivamente o T_{lim} somente quando a intensidade é normalizada através do TC.

Por outro lado, Vanhatalo et al., (2016) forneceu algumas evidências de que o a PC e W' pode estar relacionado às características bioenergéticas específicas das fibras musculares. Durante 4 teste em carga constante no ciclismo até a exaustão, a PC (234 W) foi correlacionada ($r = 0,67$, $p = 0,025$) as fibras musculares do tipo I, e inversamente correlacionada com fibras do tipo II ($r = -0,76$, $p = 0,01$). Embora não tenha ocorrido relação entre W' (19,4 Kj) e fibras muscular.

Johnson et al., (1973) através de autopsia de músculos em seres humanos após a morte, apontaram grandes diferenças na composição muscular entre os dois respectivos grupos musculares, sendo que os flexores plantares obtiveram uma média de fibras do tipo I de (46%, 53% e 49%) para o gastrocnemio lateral superficial e profundo, e medial, (98% e 100%) para o sóleo profundo e superficial, respectivamente. Enquanto que o vasto lateral alcançou em torno de (32% e 41%) profundo e superficial, respectivamente. Estes dados, contribuem para um melhor entendimento dos dados obtidos neste estudo, uma vez que os dois grupos musculares usados no presente estudo se diferenciam em sua composição de fibra muscular.

7.3 Tolerância ao exercício normalizado através do modelo TC

7.3.1 Tempo de tolerância ao exercício acima TC

Durante contrações isométricas intermitentes submáximas realizadas acima do TC (ou seja, +5% TC) neste estudo, o EJ apresentou maior tolerância ao exercício do que FP.

A tolerância ao exercício durante intensidade realizada no domínio severo tem sido mostrada ser influenciada tanto pela magnitude do W' , quanto pela taxa de sua utilização (amplitude da intensidade acima do TC) (DEKERLE et al., 2015).

Com base na avaliação de metabolitos musculares através de espectroscopia de ressonância magnética (31 P-MRS) durante o exercício de extensão do joelho de uma única perna, a PC tem sido definida como um limiar crítico no controle metabólico intramuscular (JONES et al., 2008). Logo abaixo da PC, a PCr, Pi e o pH muscular atingem valores estáveis dentro de 2 minutos do início do exercício, enquanto que acima do PC, essas variáveis apresentam respostas não estáveis (JONES et al 2008, VANHATALO et al., 2010).

Tem sido apontado semelhança com relação aos distúrbios metabólicos (PCr, Pi e H^+ , PH) após a falha da tarefa em diferentes amplitudes de intensidades dentro do domínio severo, o que coincide com a depleção total do W' em todas as intensidades (JONES et al., 2008). Também tem sido mostrado que grandes valores de W' estão efetivamente associados a altas concentrações de Cr e La, e também tendem a estarem associados a baixos níveis de PCr muscular no final do teste *all-out* de 3 min no ciclismo (VANHATALO et al., 2016).

Esses dados sugerem que as bases mecanicistas do W' em partes, estão relacionadas à capacidade muscular glicolítica e à capacidade de degradação de PCr. Esta interpretação é consistente com a redução no W' observado após a depleção tanto de glicogênio (MIURA et al., 2000) como de PCr (JONES et al., 2008).

Dada a plasticidade do W' em face da manipulação de glicogênio e PCr muscular, tem sido originalmente postulado que a magnitude do W' poderia ser determinada pelo tamanho dos estoques de substratos energéticos anaeróbio (MIURA et al., 2000; 2002).

Hipoteticamente, tanto uma maior área quanto uma maior força máxima muscular que são associados a elevadas fontes de energias armazenadas, tais como (PCr, ATP, glicogênio e oxigênio ligado à mioglobina) podem, conseqüentemente gerar um maior W' . Na verdade, durante o exercício do corpo inteiro, Miura et al. (2002) mostraram uma correlação positiva ($r = 0,59$, $p < 0,01$) entre W' e área de secção transversa da musculatura da coxa. De acordo com esses dados, Byrd et al., (2017) verificaram que a massa magra livre de mineral local foi

significativamente relacionada com magnitude do W' . O que esta em consonância com os dados de W' deste estudo ($EJ = 7243 \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$ e $FP = 3357 \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$).

Assim, maior magnitude do W' proveniente de um maior tamanho de massa muscular e conseqüentemente maior força máxima obtida neste estudo, parece explicar a maior tolerância ao exercício do EJ quando realizado a uma amplitude similar +5% do TC. Embora esta relação positiva não ocorra quando a intensidade foi normalizada através da CVM (60% CVM, $EJ < FP$). Apontando que a tolerância ao exercício parece ser dependente do tamanho do W' somente quando a contração isométrica intermitente submáxima é realizada a uma amplitude similar, acima do TC. E que o tamanho e força máxima muscular podem influenciar positivamente o T_{lim} quando a intensidade é normalizada através do TC.

De fato, diversas outras intervenções têm sugerido que W' é provindo de fontes energéticas principalmente anaeróbias, embora a tolerância no domínio severo também tem sido atualmente apontado por conta da magnitude da fadiga periférica, sendo representada como um evento crítico na falha da tarefa (AMANN et al., 2006; AMANN e DEMPSEY, 2008) e que os aferentes musculares do grupo III e IV fornecem feedback inibitório dos músculos locomotores ao sistema nervoso central (TAYLOR e GANDEVIA, 2008) influenciando a regulação a nível cortical na movimentação motora central durante o exercício fatigante e, portanto, desempenhando um papel fundamental na determinação do momento de exaustão (TAYLOR e GANDEVIA, 2008; AMANN et al., 2013).

Entretanto, a definição do W' como uma capacidade de trabalho fixa “reserva anaeróbia” que pode ser utilizada antes da exaustão ocorrer durante o exercício ($> CP$), tem uma base experimental considerável (FUKUBA e WHIPP, 1999; CHIDNOK et al., 2013).

Diferentes projetos experimentais confirmaram que o tamanho do W' permanece constante independentemente da sua taxa de saída, com a falha da tarefa coincidindo com valores consistentemente baixos de PCr muscular e pH, e acumulação de metabólitos relacionados à fadiga (isto é, P_i , H^+) (VANHATALO et al., 2010). Mas com o tempo de tolerância variando conforme a amplitude acima da PC (BROXTERMAN et al., 2015).

Como já visto, tem sido apontado que a tolerância ao exercício durante intensidade realizada acima do PC, é influenciada tanto pela magnitude do W' (como

visto acima) quanto pela taxa de sua utilização (ou seja, a amplitude da intensidade do exercício acima de PC) (DEKERLE et al., 2015).

Broxterman et al., (2015) verificando a influência da oclusão no TC e W' (PC Controle 3,9 e Oclusão $-0,7$ Watts e W' 550 e 810 J) respectivamente, durante contrações isométricas intermitentes para os flexores do punho, observaram que a 85% da potência pico durante exercício em carga constante a tolerância foi maior para o grupo controle, pois a respectiva intensidade durante a oclusão apresentava estar em maior amplitude acima da PC, a qual ficou abaixo de zero, exigindo uma maior saída de energia durante o domínio severo. O que pode em parte explicar o tempo de tolerância quando normalizado através da CVM (ou seja, $\sim 60\%$ CVM) neste estudo, o FP apresentava estar somente $+5\%$ do TC, enquanto o EJ apresentavam estar aproximadamente em média ($\sim 20\%$) acima do TC. Com isso, a grande diferença na amplitude da intensidade acima do TC utilizada neste estudo, possivelmente justifique a diferença na duração do exercício no domínio severo normalizado através da CVM.

7.3.2 Tempo de tolerância ao exercício abaixo TC

O comportamento fisiológico difere nitidamente de acordo com o exercício de carga constante realizado abaixo ou acima da PC/ TC (JONES et al., 2009). Como o TC representa a assíntota da relação torque-duração, o modelo prediz que, abaixo do TC, a fadiga e por extensão, a exaustão deve demorar mais tempo para ocorrer (JONES et al., 2009).

Neste estudo, durante exercício realizado abaixo do TC a tolerância ao exercício parece independente da magnitude W' . Ou seja, o tamanho do W' parece não ser um fator limitante na performance abaixo do TC, uma vez que o t_{lim} não variou entre os dois grupos musculares, mas foi significativamente diferente do T_{lim} acima do TC para os respectivos músculos.

Diversos dados corroboram este achado. Por exemplo, Burnely et al., (2012) todos os sujeitos alcançaram (60 min.) de exercício isométrico intermitente a 10% e 20% abaixo do TC. Kellawan e Tschakovsky (2014b) validando o modelo *all-out* de 10 min (análogo a TC) para os flexores superficiais dos dedos através da preensão manual durante contrações isométricas intermitentes, apontaram similar T_{lim} entre os sujeitos (20 min) a 10% abaixo do TC. O mesmo ocorreu após 50% e 90% abaixo

TC para os extensores do joelho, sendo que os sujeitos alcançaram (30 min) em ambas as intensidades (PETHICK, WINTER, BURNLEY, 2015).

Durante o domínio pesado (abaixo do TC), mas acima do LT, as intensidades geralmente variam de 60% a 85% VO₂max. (JONES et al., 2009) no ciclismo, e abaixo de ~38% CVM para os extensores do joelho de forma isolada (BURNLEY, VANHATALO, JONES, 2012). Uma vez que este limite na intensidade é excedido, começa a utilização do W' e conseqüentemente o adiantamento da exaustão, mas assim que a intensidade alcance valores abaixo do TC a exaustão e conseqüentemente o encerramento do exercício é adiado, graças a capacidade de recuperação de substratos energéticos e a desconfiguração a nível periférico gerada pelo acúmulo de metabólitos, que deixou de ocorrer (CHIDNOK et al., 2013; SKIBA et al., 2015). Isso talvez explique a falta de influência positiva com relação ao tamanho do W' e o T_{lim} abaixo do TC, uma vez que o T_{lim} não diferiu significativamente neste estudo entre os dois grupos musculares, possivelmente devido ao fato da similaridade nas predominâncias de substratos energéticos na manutenção da força abaixo do TC, e devido ao fato de não estar atrelada ao uso do W' e sua possível consequência metabólica (CHIDNOK et al., 2013).

O W' representa, portanto, uma quantidade constante de trabalho que pode ser realizada acima do PC e equivale a um estoque de energia constituída por reservas de O₂ (mioglobina e sangue venoso), fosfatos de alta energia e uma fonte relacionada com a glicólise anaeróbia (JONES et al., 2009). Quanto maior a intensidade sustentada acima do TC, mais rapidamente o W' será gasto, e maior a taxa de resíduos metabólitos, os quais tem sido associado ao processo de fadiga (por exemplo, Pi, ADP, H⁺, K⁺ extracelular) acumulados (SKIBA et al., 2015; BROXTERMAN et al., 2015).

Durante o exercício abaixo do TC, um equilíbrio na PCr e pH muscular foi atingido dentro de 3 min e a estabilidade em Pi foi atingido dentro de 1min. A perturbação metabólica abaixo do TC foi relativamente leve após 20 min de exercício, a PCr caiu para aproximadamente três quartos do valor basal e o PH não mostrou diferença do valor medido em repouso (7,01) (JONES et al., 2008; SKIBA et al., 2015). Assim, a literatura indica que a PC/ TC delimitam um domínio de intensidade do exercício dentro do qual essas variáveis metabólicas musculares podem ser estabilizadas e sustentadas próximas de valores de repouso, o que corrobora com dados deste estudo com relação ao tempo de performance, que

possibilitou a execução do exercício por mais tempo nesta situação quando comparado acima do TC, independente do grupo muscular.

7.3.3 Tolerância ao Exercício Normalizado por meio do valor da CVM

A fadiga é um sintoma incapacitante caracterizado por sensações de cansaço e fraqueza, sustentadas por diversos mecanismos complexos (ENOKA e DUCHATEAU, 2016). O nível de complexidade da fadiga varia dependendo das circunstâncias, embora durante o exercício físico seja definido genericamente como um deficit na produção de força dos músculos ativos, ou seja, a incapacidade de execução da força máxima ou mesmo a incapacidade de sustentação em uma determinada força submáxima (GANDEVIA et al., 2001).

Os mecanismos que estão atrelados a essa redução de força ocorrem em vários locais ao longo da via motora, entre a ativação neural e as proteínas contráteis dos músculos ativos (ENOKA e DUCHATEAU, 2016). Sendo que tanto a contribuição desses mecanismos quanto a magnitude dessa fatigabilidade são dependentes das demandas imposta na tarefa de exercício (ENOKA e STUART, 1992), como por exemplo a intensidade da contração (PLACE et al., 2009).

O prejuízo na ativação dos músculos pode contribuir substancialmente para a fatigabilidade durante exercícios em baixa intensidade e longa duração (SMITH et al., 2007), enquanto a insuficiência contrátil é freqüentemente dominante para tarefas de maior intensidade e curta duração (BIGLAND-RITCHIE, FURBUSH, WOODS, 1986). Tem sido proposto que a fatigabilidade do desempenho pode ser inversamente modulada pelo tamanho/ ou força máxima do musculo contratante (ENOKA et al., 2001).

Musculos maiores geralmente mostraram ter menores tempo de tolerância no exercício do que músculos menores, tanto durante contrações isométricas contínuas como intermitentes, quando a intensidade é normalizada através da CVM individual (NEYROUD et al., 2013).

Diferenças na oclusão do fluxo sanguíneo e comprometimento da entrega de oxigênio para o músculo tem sido reivindicado como um mecanismo importante para explicar o efeito de força máxima / área de seção transversa muscular na tolerância ao exercício (HUNTER e ENOKA, 2001). Uma explicação comum é de que músculos grandes, que são geralmente mais fortes, sustentam maiores forças

absolutas quando a força alvo se baseia na força máxima (CVM) de um indivíduo (HUNTER e ENOKA, 2001 e 2004).

Evidências indiretas sugerem que maiores forças absolutas estão associadas ao aumento das pressões intramusculares gerando maior oclusão do fluxo sanguíneo e oxigênio entregue ao músculo, conseqüentemente maior acúmulo de metabólitos o que por sua vez acarretará no aumento das respostas metaboreflexas do musculo ao drive neural, e a diminuição da tolerância ao exercício (AMANN et al., 2011).

Fato o qual em parte, pode explicar os achados obtidos neste estudo, quando comparados à tolerância nos distintos grupos musculares normalizados através da %CVM. Na verdade, o presente estudo encontrou que a tolerância ao exercício durante a contração isométrica submáxima intermitente em similar intensidade normalizado pela CVM (ou seja, ~60%CVM) foram significativamente maiores para FP do que para EJ. Assim, o tamanho e força máxima parece mostrar influenciar negativamente a performance, durante intensidade normalizada através da CVM.

Neyroud et al. (2013) analisaram a tolerância ao exercício isométrico realizado de forma contínua, nos músculos de membros superiores e inferiores durante intensidade a 50%CVM, e corroborando com os dados citados acima, encontraram diferentes valores de T_{lim} entre os grupos musculares (FP 220,4 s > EJ 76,5 s). O FP foram os que apresentaram a maior tolerância ao exercício nas condições analisadas. Apesar dos pesquisadores terem especulado que essas diferenças podem estar ligadas à função postural dos respectivos músculos, independentemente esses dados apontam a influencia negativa do tamanho do musculo (EJ) em produzirem menor tempo de tolerancia quando a força alvo é normalizada através da CVM.

Como mencionado acima, para se analisar a tolerância ao exercício durante contrações isométricas intermitentes submáximas, tem sido utilizada a normalização da intensidade através do %CVM, com a determinação da resposta de alguns metabólitos (PCr, Pi, H⁺ e pH) ao longo do tempo, para se analisar o impacto do exercício sobre estes parâmetros. Além disso, esta análise permite também comparar indivíduos ou mesmo diferentes grupos musculares para a mesma carga relativa à CVM (SAUGEN et al., 1997). Este paradigma, na normalização através de percentual da CVM parte do pressuposto de que o ambiente intracelular durante o exercício na mesma intensidade relativa à CVM, sejam iguais entre indivíduos.

Entretanto, Kellawan e Tschakovsky, (2014b) sugeriram que a seleção de intensidades em exercícios isométricos pelo percentual da CVM de um indivíduo, pode não ter relação com domínios de intensidade de exercícios, o que pode levar os sujeitos a exercitarem-se em diferentes níveis de demanda metabólica, possibilitando um distúrbio metabólico desproporcional (SAUGEN et al. 1997). Diversos estudos utilizando contrações isométricas intermitentes tem apontado variações metabólicas durante a exaustão na mesma carga relativa. O que é visto por Fiedler et al. (2016), em um protocolo a 40% CVM, a queda da PCr variou entre 77% a 14%, e com aumento progressivo da carga, de 20% a 60% CVM a queda da PCr variou entre 15% a 95% para o gastrocnêmio e 4% a 58% para o sóleo.

Saugen et al. (1997) também verificaram variações entre indivíduos na magnitude da queda de PCr ao longo do tempo. Enquanto três dos oito sujeitos que participaram do estudo apresentaram respostas mais brandas na depleção de PCr redução para ~20%, 43%, 45% do total e mantiveram a estabilização, os outros cinco sujeitos reduziram para ~28%, 10%, 8%, 8%, 5%, e mantiveram a queda até a exaustão.

Portanto, a normalização da intensidade através da CVM individual, tem mostrado ser um importante fator que pode determinar as diferenças na tolerância ao exercício, possivelmente por conta da utilização de diferentes magnitudes de substratos energéticos ou mesmo diferentes fontes energéticas, durante a comparação entre distintos grupos musculares na mesma intensidade relativa.

No entanto, ainda há pouca informação na literatura referente aos mecanismos que podem determinar estas diferentes respostas entre distintos grupos musculares com intensidades normalizadas através %CVM. Mas como já discutido acima, no ponto de vista do modelo PC, durante exercícios no domínio severo, a tolerância ao exercício é influenciada tanto pela magnitude do W' (como visto acima) quanto pela taxa de sua utilização (ou seja, a amplitude da intensidade do exercício acima de PC) (DEKERLE et al., 2015). Portanto, a grande diferença na amplitude da intensidade acima do TC utilizada neste estudo (FP +5% e EJ +20% acima do TC), possivelmente justifique a diferença na duração do exercício no domínio severo normalizado através da CVM (FP 300 s e EJ 156 s). Apontando como já melhor descrito acima, que o tamanho e força máxima muscular pode influenciar negativamente a performance, durante intensidade normalizada através da CVM.

7.3.4 Comparação T_{lim} entre realizado e previsto pela equação.

Diversos estudos mostram que a assíntota da relação hiperbólica, a PC, reflete a maior taxa metabólica oxidativa que pode ser mantida por um longo tempo sem a exaustão, enquanto o W' representa uma quantidade constante de trabalho que pode ser realizada acima do PC, independentemente da taxa em que o trabalho é realizado (WHIPP et al., 1981; MORITANI et al., 1981). A duração tolerável do exercício acima da PC esta relacionada à diferença entre a taxa de trabalho sustentada e a PC, assim, quanto maior a taxa de trabalho acima da PC, mais rapidamente as fontes de energia armazenadas (PCr, glicólise anaeróbia) deve ser esgotada, e conseqüentemente mais rapidamente os subprodutos dessas reações (ADP, Pi, H⁺ e lactato) devem se acumular no sangue e/ ou músculos contratantes (POOLE et al., 1988; MORITANI et al., 1981).

Numerosos estudos também demonstraram que as respostas fisiológicas ao exercício acima da PC, geralmente se adequam às previsões do modelo (FUKUBA e WHIPP 1982; HEUBERT et al., 2005; HILL 2004; JONES e WHIPP 2002).

Por exemplo, Jones et al., (2007) através da extensão do joelho em uma única perna a 10% acima da PC, obtiveram um tempo de tolerância significativamente semelhante ao previsto pela equação (900 s – 840 s. $R^2= 0,76$).

Entretanto, outros estudos apontam correlações mais fortes entre o T_{lim} previsto e realizado. Kellawan e Tschakovsky (2014b) validando o modelo de força crítica (análogo a PC) para os flexores superficiais dos dedos através da preensão manual durante contrações isométricas intermitentes (1s contração e 2s relaxamento), não evidenciaram diferenças significativas no T_{lim} (474 s – 504 s, $P < 0,01$), pelo contrario, destacaram forte correlação ($r^2= 0,97$) entre o realizado e previsto, respectivamente. Portanto, os dados do presente estudo vão além de estar em consonância com outros estudos, mas ampliam a validade do modelo de TC, através de contração isométrica intermitente com ciclo esforço-pausa (3 s contração e 2 s relaxamento) já que o T_{lim} real não foi diferente e significativamente correlacionado (R^2 , EJ 0,66 e FP 0,72) com o T_{lim} previsto pela equação. Com isso, é valido e de certa forma preciso a utilização da equação do modelo PC, afim de prever o T_{lim} durante exercício no domínio de intensidade severo, independentemente do grupo muscular.

8 CONCLUSÃO

Em resumo, este estudo demonstrou que durante as repetidas contrações isométricas submáximas realizadas com CVM similar, a tolerância ao exercício parece ser influenciada negativamente pela força máxima.

Acima do TC em amplitude similar, a tolerância ao exercício é influenciada positivamente pelo W' , que é parcialmente explicado pela CVM, independentemente do grupo muscular. No entanto, o limite de tolerância durante as contrações isométricas submáximas realizadas abaixo do TC é independente do W' . Assim, o limite de tolerância durante o exercício de massa muscular pequena é influenciado pela CVM absoluta somente quando o exercício é realizado acima do TC, o que parece ser explicado pela diferença tanto no TC (expresso como % CVM) quanto no valor de W' .

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, D.G, LAMB G.D., WESTERBLAD, H Role of phosphate and calcium stores in muscle fatigue. **The Journal of Physiology**, London, v. 536, n.3, p. 657-665, 2001.

ALLEN, D.G, LAMB G.D., WESTERBLAD, H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. **Physiol Rev**, Bethesda, v.88, p. 287-332, 2008.

AMANN, M., ROMER, L.M., PEGELOW, D.F., JACQUES, A.J., HESS, C.J., DEMPSEY, J.A. Effects of arterial oxygen content on peripheral locomotor muscle fatigue. **Journal of Applied Physiology**, v. 101, n. 1, p. 119-127, 2006.

AMANN, M., DEMPSEY, J.A. Locomotor muscle fatigue modifies central motor drive in healthy humans and imposes a limitation to exercise performance. **The Journal of physiology**, v. 586, n. 1, p. 161-173, 2008.

AMANN, M., BLAIN, G.M., PROCTOR, L.T., SEBRANEK, J.J., PEGELOW, D.F., DEMPSEY, J.A. Implications of group III and IV muscle afferents for high-intensity endurance exercise performance in humans. **The Journal of physiology**, London, v. 589, n.21, p. 5299-5309, 2011.

AMANN, M., VENTURELLI, M., IVES, S.J., MCDANIEL, J., LAYEC, G., ROSSMAN, M.J., RICHARDSON, R.S. Peripheral fatigue limits endurance exercise via a sensory feedback-mediated reduction in spinal motoneuronal output. **Journal of applied physiology**, v. 115, n. 3, p. 355-364, 2013.

BIGLAND-RITCHIE, B., FURBUSH, F., WOODS, J.J. Fatigue of intermittent submaximal voluntary contractions: central and peripheral factors. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 61, n.2, p. 421-429, 1986.

BILLAT, V., RENOUX, J.C., PINOTEAU, J., PETIT, B., KORALSZTEIN, J.P. Reproducibility of running time to exhaustion at VO₂max, in subelite runners. **Medicine and science in sports and exercise**, Hagerstown v. 195, p. 2602-025433000, 1994.

BILLAT, L.V., KORALSZTEIN, J.P. Significance of the velocity at VO₂max and time to exhaustion at this velocity. **Sports Medicine**, Hagerstown 22(2), 90-108. 1996.

BILLAT, V.L., MOUISEL, E., ROBLOT, N., MELKI, J. Inter-and intra strain variation in mouse critical running speed. **Journal of applied physiology**, Bethesda, v. 98, n.4, p. 1258-1263, 2005.

BOWEN, T.S., CANNON, D.T., MURGATROYD, S.R., WITTE, K.K., ROSSITER, H.B. Moderate-Intensity Exercise Increases Subsequent Muscle Oxygenation and Speeds VO₂ Kinetics in Chronic Heart Failure. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 42, n.5, p. 23, 2010.

BURKE, R.E., LEVINE, D.N., TSAIRIS, P., ZAJAC, F. 3 types and histochemical profiles in motor units of the cat gastrocnemius. **Journal of physiology**, London, v. 234, n. 3, p.723–748, 1973.

BURNLEY M, JONES AM. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. **European Journal of Sport Science**, London, v. 7, n.2, p. 63-79, 2007.

BURNLEY M. Estimation of critical torque using intermittent isometric maximal voluntary contractions of the quadriceps in humans. **Journal of Applied Physiology**; Bethesda, v. 106, n.9, p.75–83, 2009.

BURNLEY M., VANHATALO A., FULFORD, J., JONES, A.M. Similar metabolic perturbations during all-out and constant force exhaustive exercise in humans: a 31P magnetic resonance spectroscopy study. **Exp physiology**, Malden, v. 95, n.7, p. 798-807, 2010.

BURNLEY M, VANHATALO A, JONES AM. Distinct profiles of neuromuscular fatigue during muscle contractions below and above the critical torque in humans. **Journal of Applied Physiology**. Bethesda, v. 23; p. 113:215, 2012.

BYRD, M.T., SWITALLA, J.R., EASTMAN, J.E., WALLACE, B.J., CLASEY, J.L., BERGSTROM, H. C. Contributions of Body Composition Characteristics to Critical Power and Anaerobic Work Capacity. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, Marburg, p. 1-20, 2017.

BROXTERMAN, R.M., ADE, C.J., POOLE, D.C., HARMS, C.A., BARSTOW, T.J. A single test for the determination of parameters of the speed–time relationship for running. **Respiratory physiology and neurobiology**, Victoria, v. 185, n. 2, p. 380-385, 2013.

BROXTERMAN, R.M., CRAIG, J.C., SMITH, J.R., WILCOX, S.L., JIA, C., WARREN, S., BARSTOW, T.J. Influence of blood flow occlusion on the development of peripheral and central fatigue during small muscle mass handgrip exercise. **The Journal of Physiology**, London, v. 593, n. 17, p. 4043-4054, 2015.

BROXTERMAN, R.M., LAYEC, G., HUREAU, T.J., AMANN, M., RICHARDSON, R.S. Skeletal muscle bioenergetics during all-out exercise: mechanistic insight into the oxygen uptake slow component and neuromuscular fatigue. **Journal of Applied Physiology**, 122(5), 1208-1217. 2017.

CALIS, J.F., DENADAI B.S. Influência das cargas selecionadas na determinação da potência crítica determinada no ergômetro de braço em dois modelos lineares. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, São Paulo, v. 6, p. 1-4, 2000.

CAPUTO, F.; DENADAI, B.S. The highest intensity and the shortest duration permitting attainment of maximal oxygen uptake during cycling: effects of different methods and aerobic fitness level. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin v.103, p.47-57, 2008.

- CARITÁ, R.A.C., PESSÔA F.D.M., BARBOSA, L.F., GRECO, C.C. Slow component of VO₂ kinetics: physiological determinants and implications for performance in aerobic exercises. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, São Paulo, v. 16, p. 233-246, 2014.
- CHIDNOK, W., DIMENNA, F.J., BAILEY, S.J., VANHATALO, A., MORTON, R.H., WILKERSON, D.P., JONES, A.M. Exercise tolerance in intermittent cycling: application of the critical power concept. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown v.44, n. 5, p. 966-976, 2012.
- CHIDNOK, W., DIMENNA, F. J., BAILEY, S. J., WILKERSON, D. P., VANHATALO, A., JONES, A. M. Effects of pacing strategy on work done above critical power during high-intensity exercise. **Medicine and science in sports and exercise**, Hagerstown v. 45, n. 7, p. 1377-1385, 2013.
- CLARK, B.C., COLLIER, S.R., MANINI, T.M., PLOUTZ-SNYDER, L.L. Sex differences in muscle fatigability and activation patterns of the human quadriceps femoris. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 94, n. 1–2, p. 196–206, 2005.
- COPP S.W, HIRAI D.M, MUSCH T.I, POOLE D.C. Critical speed in the rat: implications for hindlimb muscle blood flow distribution and fibre recruitment. **Journal of Physiology**, London, p. 588:5077, 2010.
- COYLE, E.F., COGGAN, A.R., HEMMERT, M.K., IVY, J.L. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. **Journal of applied physiology**, Bethesda, v. 61, n. 1, p. 165-172. 1986.
- DEEB J.M, DRURY C.G, PENDERGAST D.R. An exponential model of isometric muscular fatigue as a function of age and muscle groups. **Ergonomics**. London, V. 35, n. 7–8, p. 899–918, 1992.
- DEKERLE, J., SOUZA, K.M., LUCAS, R.D., GUGLIELMO, L.G., GRECO, C.C., DENADAI, B.S. Exercise tolerance can be enhanced through a change in work rate within the severe intensity domain: work above critical power is not constant. **PloS one**, v. 10, n. 9, p. e0138428, 2015.
- DENADAI, B.S.; GRECO, C.C. Prescrição do treinamento aeróbio: teoria e prática. **Guanabara Koogan**, São Paulo, 2005.
- DIMENNA, F.J.; JONES, A.M. “Linear” Versus “Nonlinear” O₂ Responses to Exercise: Reshaping Traditional Beliefs. **Journal of Exercise Science and Fitness**, Hong Kong, v. 7, n. 2, p. 67-84, 2009.
- ENOKA RM, DUCHATEAU J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. **Journal of Physiology**, London, V.5, n.86, p. 11–23, 2008.
- FIEDLER, G.B., SCHMID, A.I., GOLUCH, S., SCHEWZOW, K., LAISTLER, E., NIESS, F., MOSER, E. Skeletal muscle ATP synthesis and cellular H⁺ handling measured by localized ³¹P-MRS during exercise and recovery. **Scientific reports**, London, v. 6, 2016.

FITTS R.H. Cellular mechanisms of muscle fatigue. **Physiol Rev**, Bethesda, v. 74, p. 49-94, 1994.

FREY LAW, L.A.; AVIN, K.G. Endurance time is joint-specific: a modelling and meta-analysis investigation. **Ergonomics**, London, v. 53, n. 1, p. 109-129, 2010.

FROYD C., BELTRAMI F.G., MILLET Y.G, NOAKES T.D. Central Regulation and Neuromuscular Fatigue during Exercise of Different Durations. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstow, v. 48, n. 6, p. 1024 - 1032, 2016.

FUKUBA Y, WHIPP B.J. A metabolic limit on the ability to make up for lost time in endurance events. **J Appl Physiol** 87: 853–861, 1999.

FULL, R.J., HERREID, C.F. Aerobic response to exercise of the fastest land crab. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, Maryland, v. 244, n. 4, p. R530-R536, 1983.

FULL, ROBERT J. Locomotion without lungs: energetics and performance of a lungless salamander. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 251, n. 4, p. R775-R780, 1986.

GAESSER G.A, POOLE D.C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Exerc Sports Sci Rev**, Philadelphia, v. 24, p. 35-70, 1996.

GANDEVIA S.C. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. **Physiological Reviews**, Massachusetts, v.81, p. 1725-1789, 2001.

HERREID, C.F.; FULL, R.J. Energetics of hermit crabs during locomotion: the cost of carrying a shell. **Journal of Experimental Biology**, Histon, v. 120, n. 1, p. 297-308, 1986.

HEUBERT R.A, BILLAT V.L, CHASSAING P, BOCQUET V, MORTON R.H, KORALSZTEIN J.P, DI PRAMPERO PE. Effect of a previous sprint on the parameters of the work-time to exhaustion relationship in high intensity cycling. **Int J Sports Med** v. 26: pag. 583–592, 2005.

HILL A.V. The physiological basis of athletic records. **Nature**, London, V. 116, n. 8, p. 544, 1925.

HILL D.W. The relationship between power and time to fatigue in cycle ergometer exercise. **Int J Sports Med** v. 25: pag. 357–361, 2004.

HUNTER, S.K.; ENOKA, R.M. Sex differences in the fatigability of arm muscles depends on absolute force during isometric contractions. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 91, n. 6, p. 2686-2694, 2001.

HUNTER S.K, CRITCHLOW A, SHIN IS, ENOKA R.M. Men are more fatigable than strength-matched women when performing intermittent submaximal contractions. **Journal of Applied Physiology**. Bethesda, v. 96, p. 2125–2132, 2004.

HUNTER, S.K. Sex differences and mechanisms of task-specific muscle fatigue. **Exercise and sport sciences reviews**, Indianapolis, v. 37, n. 3, p. 113, 2009b.

HUNTER S.K, GRIFFITH E.E, SCHLACHTER KM, KUFAHL T.D. Sex differences in time to task failure and blood flow for an intermittent isometric fatiguing contraction. **Muscle Nerve**, Boston, v. 39, p. 42–53, 2009a.

JOHNSON M.A, POLGAR J, WEIGHTMAN D, APPLETON D. Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles. An autopsy study. **J Neurol Sci**, v. 18: pag. 111–129, 1973.

JONES A.M, WHIPP B.J. Bioenergetic constraints on tactical decision making in middle distance running. **Br J Sports Med** v. 36: pag. 102–104, 2002.

JONES A.M, WILKERSON D.P, DIMENNA F, FULFORD J, POOLE D.C. Muscle metabolic responses to exercise above and below the “critical power” assessed using ³¹P-MRS. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, Bethesda, v. 294: n.5, p.85– 93, 2008.

JONES A.M, VANHATALO A, BURNLEY M, MORTON R.H, POOLE D.C. Critical power: implications for determination of V̇_O2max and exercise tolerance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown v. 42, p. 1876-90, 2010.

KELLAWAN, J.M., BENTLEY, R.F., BRAVO, M.F., MOYNES, J.S., TSCHAKOVSKY, M.E. Does oxygen delivery explain interindividual variation in forearm critical impulse ?. **PloS one**, California, v. 2, n. 11, p. e12203, 2014a.

KELLAWAN, J.M., TSCHAKOVSKY, M.E. The single-bout forearm critical force test: a new method to establish forearm aerobic metabolic exercise intensity and capacity. **PloS one**, California, v. 9, n. 4, p. e93481, 2014b.

KENT-BRAUN J.A, MILLER R.G, WEINER M.W. Phases of metabolism during progressive exercise to fatigue in human skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 75, p. 573– 580, 1993.

LAUDERDALE, M.A.; HINCHCLIFF, K.W. Hyperbolic relationship between time-to-fatigue and workload. **Equine veterinary journal**, Medford, v. 31, n. S30, p. 586-590, 1999.

MARCORA, S.M., STAIANO, W. The limit to exercise tolerance in humans: mind over muscle?. **European journal of applied physiology**, v. 109, n. 4, p. 763-770, 2010.

MIURA, A., SATO, H., SATO, H., WHIPP, B.J., FUKUBA, Y. Effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry. **Ergonomics**, London, v. 43, n. 1, p. 133-141, 2000.

MIURA A, ENDO M, SATO H, SATO H, BARSTOW T.J, FUKUBA Y. Relationship between the curvature constant parameter of the power–duration curve and muscle cross-sectional area of the thigh for cycle ergometry in humans. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin v. 87, p.238–44, 2002.

MONOD H, SCHERRER J. The work capacity of a synergic muscular group. **Ergonomics**, London, v. 8, p. 329–38, 1965.

MORITANI T, NAGATA A, DEVRIES H.A, MURO M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. **Ergonomics**, London, v. 24, n. 5, p. 339-350, 1981.

NAGLE FJ, SEALS DR, HANSON P. Time to fatigue during isometric exercise using different muscle masses. **International Journal of Sports Medicine**. New York, v. 9, n.5, p. 313–315, 1988.

NEYROUD, D., RÜTTIMANN, J., MANNION, A.F., MILLET, G.Y., MAFFIULETTI, N.A., KAYSER, B., PLACE, N. Comparison of neuromuscular adjustments associated with sustained isometric contractions of four different muscle groups. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 114, n. 10, p. 1426-1434, 2013.

OHASHI J. Effects of contraction level on the changes of surface electromyogram during fatiguing static contractions. **Annals of Physiology Anthropology**, Osaka, v. 12, n. 4, p. 229–241, 1993.

PÉRIARD, J.D., CHRISTIAN, R.J., KNEZ, W.L., RACINAIS, S. Voluntary muscle and motor cortical activation during progressive exercise and passively induced hyperthermia. **Experimental physiology**, v. 99, n. 1, p. 136-148, 2014.

PETHICK, J., WINTER, S. L., BURNLEY, M. Fatigue reduces the complexity of knee extensor torque fluctuations during maximal and submaximal intermittent isometric contractions in man. **The Journal of physiology**, London, v. 593, n. 8, p. 2085-2096, 2015.

POOLE D.C, WARD S.A, GARDNER G.W, WHIPP B.J. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. **Ergonomics**, London, v. 31, n. 12, p.65-79, 1988.

POOLE, D.C., BURNLEY, M., VANHATALO, A., ROSSITER, H.B., & JONES, A.M. Critical power: an important fatigue threshold in exercise physiology. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstow. v. 48. n. 11, p. 2320-34, 2016.

RASHEDI, E., NUSSBAUM, M.A. Cycle time influences the development of muscle fatigue at low to moderate levels of intermittent muscle contraction. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, London, v. 28, p. 37-45, 2016.

SATO, H., OHASHI, J. Sex differences in static muscular endurance. **Journal of human ergology**, Sendagaya, v. 18, n. 1, p. 53-60, 1989.

SAUGEN E, VOLLESTAD N.K, GIBSON H, MARTIN P.A, EDWARDS R.H. Dissociation between metabolic and contractile responses during intermittent isometric exercise in man. **Exp Physiol**, Malden, v. 82, p. 213–226, 1997.

SKIBA, P.F., FULFORD, J., CLARKE, D.C., VANHATALO, A., JONES, A. M. Intramuscular determinants of the ability to recover work capacity above critical

power. **European journal of applied physiology**, Berlin, v. 115, N. 4, p. 703-713, 2015.

SMOLANDER, J., AMINOFF, T., KORHONEN, I., TERVO, M., SHEN, N., KORHONEN, O., LOUHEVAARA, V. Heart rate and blood pressure responses to isometric exercise in young and older men. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**. Berlin, v. 77. N. 5., p. 439–444, 1998.

TEIXEIRA, E.L., BARROSO, R., SILVA-BATISTA, C., LAURENTINO, G.C., LOENNEKE, J.P., ROSCHEL, H., TRICOLI, V. Blood flow restriction increases metabolic stress but decreases muscle activation during high-load resistance exercise. **Muscle and nerve**, v. 57, n. 1, p. 107-111, 2018.

VALLI, G., COGO, A., PASSINO, C., BONARDI, D., MORICI, G., FASANO, V., PALANGE, P. Exercise intolerance at high altitude (5050 m): critical power and W'. **Respir Physiol Neurobiol**, Victoria, v. 177, n. 3, p. 33-41, 2011.

VANHATALO A, DOUST J.H, BURNLEY M. Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown v. 39, p. 548–555, 2007.

VANHATALO A, DOUST J.H, BURNLEY M. A 3-min all-out cycling test is sensitive to a change in critical power. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 40, p. 1693–1699, 2008.

VANHATALO A, FULFORD J, DIMENNA F, JONES A.M. Influence of hyperoxia on muscle metabolic responses and the power-duration relationship during severe-intensity exercise in humans: a ³¹P magnetic resonance spectroscopy study. **Exp Physiol**, Malden, v. 95, p. 528–540, 2010.

VANHATALO, A., BLACK, M.I., DIMENNA, F. J., BLACKWELL, J.R., SCHMIDT, J.F., THOMPSON, C., JONES, A.M. The mechanistic bases of the power–time relationship: muscle metabolic responses and relationships to muscle fibre type. **The Journal of physiology**, London, v. 594, n. 15, p. 4407-4423, 2016.

WHIPP B.J, HUNTSMAN D.J, STONER N, LAMARRA N, WASSERMAN K.A constant which determines the duration of tolerance to high-intensity work. **Fed Proc**, Bethesda, v. 41: pag. 1591, 1981.

WHIPP B.J, HUNTSMAN B.J, STORER T, LAMARRA N, WASSERMAN K. A constant which determines the duration of tolerance to high- intensity work. **Fed Proc**, Bethesda, v. 4, p. 1591, 1982.

XU, F., RHODES, E.C. Oxygen uptake kinetics during exercise. **Sports Medicine**, New Zealand, v. 27, p. 313-327, 1999.

ANEXO I - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

(Conselho Nacional de Saúde, Resolução 466/2012)

Eu, Leonardo Henrique Perinotto Abdalla, aluno de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Humano e Tecnologias, Instituto de Biociências, UNESP, Campus Rio Claro - SP, RG: 34.639.198-2, venho por meio deste convidá-lo a participar como voluntário do projeto de pesquisa abaixo:

Nome do Projeto: Comparação da duração do exercício isométrico realizado entre grupos musculares com diferentes tamanhos.

Objetivos e Justificativa:

Este estudo, em nível de mestrado, será realizado com o objetivo de determinar o torque crítico dos músculos extensores do joelho e flexores plantares, e comparar a resposta do tempo de esforço entre estes grupos musculares.

A justificativa para a realização deste estudo é que até o presente momento não existem estudos que compararam o tempo de esforço entre diferentes grupos musculares através do torque crítico. A realização e participação neste estudo poderão contribuir para a melhora da compreensão das respostas neuromusculares durante o exercício, auxiliando na prescrição de programas de treinamento que incluem aspectos tanto de rendimento, como também de aptidão física e saúde. Abaixo estão descritos os procedimentos metodológicos a serem adotados na pesquisa:

Avaliação antropométrica:

Serão mensuradas as seguintes variáveis antropométricas: Massa corporal (kg), estatura (cm), dobras cutâneas (tríceps braquial, suprailíaca e abdominal), percentual de gordura corporal (%), massa corporal magra (kg) e massa de gordura (kg).

1ª e 2ª visitas ao laboratório: Familiarização:

Para a avaliação do desempenho muscular dos flexores plantares (gastrocnêmico e sóleo) e extensores do joelho (quadríceps) será realizada a familiarização aos protocolos experimentais em dias separados, realizando

contrações máximas isométricas de forma intermitente com ciclo de exercício de 3 s de contração por 2 s de relaxamento, em intensidade máxima e submáxima, a fim de familiarizar-se com o equipamento e a intensidade de contração de 3 s com base no visor do dinamômetro isocinético, indicando o nível de força a ser atingido. Para a realização deste estudo e protocolos será utilizado o dinamômetro isocinético Biodex System 3 Pro® (Biodex Medical Systems Inc., Shirley, NY, USA).

3ª e 4ª visitas ao laboratório: Determinação da contração voluntária máxima e determinação do torque crítico.

Serão realizados os ajustes das posições individuais no dinamômetro isocinético, a seguir o participante permanecerá posicionado sentado no equipamento. Posteriormente será realizado um aquecimento com 5 contrações isocinéticas, seguido de 5 minutos de descanso, e posteriormente o participante realizará 3 contrações voluntárias máximas com duração de 3 s, seguido por intervalo de recuperação de 180 s entre as contrações, com intervalo de 15 minutos de descanso

Após o descanso o participante será informado sobre o valor da contração voluntária máxima mensurada no teste anterior. Posteriormente o participante será incentivado a tentar igualar ou exceder esses valores durante as primeiras 3-5 contrações no teste para determinação do torque crítico. O participante também será estimulado a sempre produzir um esforço máximo durante cada contração. O teste consiste em ciclos de trabalho (3 s de contrações e 2 s de recuperação). Ambos os testes ocorrerão e em dias diferentes e ordem aleatória.

5ª e 9ª visitas ao laboratório: Teste de esforço submaximo, acima e abaixo do torque crítico:

Após os ajustes das posições, a realização do aquecimento, e a recuperação, o participante realizará uma 3 CVMI (3s com 180s repouso), antes e imediatamente em seguida ao teste de contração alvo. Após o repouso de 15 minutos, os sujeitos realizaram exercícios de esforço submaximo (contração alvo) a intensidade será ajustada pelo torque crítico. O ciclo de trabalho de ambos os testes ocorrerão de forma semelhante aos testes da 3ª e 4ª visitas, e em dias diferentes e ordem aleatória para os respectivos músculos. Sendo que a intensidade alvo será ajustada

em +5% e -5% do torque crítico. Posteriormente será ajustada a mesma intensidade normalizada pela %CVM de +5% do TC da panturrilha, para o quadríceps.

Desconforto e riscos dos testes:

Os desconfortos e riscos pertinentes deste protocolo são aqueles inerentes a qualquer prática de exercícios, como por exemplo: lesões músculo-esqueléticas, inflamação e respostas atípicas da pressão arterial. Porém, além da baixa frequência com que estes eventos ocorrem nas condições laboratoriais, os riscos tendem a ser minimizados pela aplicação do questionário PAR-Q e pelas condições de pronto-atendimento em caso de acidente. É possível a ocorrência de dores musculares 24 horas após o final dos exercícios. Este sintoma tende a diminuir espontaneamente. Durante toda a avaliação os participantes terão acompanhamento e assistência do profissional de Educação Física habilitado a prestar primeiros socorros (no caso de haver essa necessidade). Para as medidas de proteção ou para minimização de qualquer risco eventual, está previsto o apoio da equipe de resgate ou serviço móvel de emergência SAMU.

Direitos do participante:

Todo participante aos testes terá acesso aos seus dados, assim como aos resultados finais. Nenhum resultado será divulgado ou levado ao conhecimento de pessoas estranhas ao Laboratório de Avaliação da Performance Humana, sem a autorização expressa do participante submetido aos testes. Todo participante poderá recusar a participação neste estudo ou poderá abandonar os testes a qualquer momento, sem prestar qualquer tipo de esclarecimento. Os resultados dos testes poderão ser utilizados para pesquisa, sendo assegurado o anonimato do participante, desde que autorizado expressamente neste termo de consentimento. Além disso, o participante não terá nenhum gasto ou será ressarcido financeiramente pela participação no estudo.

Se o Sr. se sentir suficientemente esclarecido sobre essa pesquisa, seus objetivos, eventuais riscos e benefícios, convido-o a assinar este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, elaborado em duas vias, sendo que uma ficará com o Sr. e a outra com o pesquisador.

Eu, _____
_____, portador do RG nº _____ e CPF nº: _____

concordo em participar neste projeto de pesquisa. Desta forma, autorizo a utilização dos dados destes testes para fins de pesquisa do Laboratório de Avaliação da Performance Humana, UNESP, Rio Claro, SP, bem como a divulgação dos resultados por meio de qualquer meio de divulgação, desde que seja assegurado o anonimato.

Rio Claro, _____/_____/_____

 (Assinatura do pesquisador responsável) (Assinatura do voluntário/ ou responsável)

Dados sobre a Pesquisa:

Título do Projeto: Comparação da duração do exercício isométrico realizado entre grupos musculares com diferentes tamanhos.

Pesquisador Responsável: Leonardo Henrique Perinotto Abdalla

Cargo/função: Aluno de mestrado.

Instituição: Universidade Estadual Paulista, UNESP, Instituto de Biociências, Campus Rio Claro – SP, Brasil.

Laboratório de Avaliação da Performance Humana.

Endereço: Avenida 24A, 1515, Bela Vista, Rio Claro, SP.

Dados para Contato: Fone (19) 99763-1585/ E-mail: leoabdalla@live.com

Orientadora: Profa. Dra. Camila Coelho Greco.

Instituição: Universidade Estadual Paulista, UNESP, Instituto de Biociências, Campus Rio Claro, SP, Brasil.

Laboratório de Avaliação da Performance Humana.

Endereço: Avenida 24A, 1515, Bela Vista, Rio Claro, SP.

Dados para Contato: fone (19) 3526-4338/ E-mail: greco@rc.unesp.br

CEP-IB/UNESP-CRC

Av. 24A, nº 1515, Bela Vista, 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil.

Telefone: (19) 3526-9678.

Dados sobre o participante da Pesquisa:

Nome: _____

Documento de Identidade: _____

Sexo: _____ Data de Nascimento: ____/____/_____

Endereço: _____

Telefone para contato: _____

ANEXO II - Questionário de Prontidão para Atividade Física (PAR-Q)

Questionário de Prontidão para
Atividade Física. PAR-Q (revisado em 1994)

PAR-Q E VOCÊ

(Um Questionário para Pessoas com 15 a 69 Anos de Idade)

A atividade física regular é alegre e saudável, com um número cada vez maior de pessoas começando a se tornar mais ativas a cada dia. Ser mais ativo é muito seguro para a maioria das pessoas. Entretanto, algumas pessoas devem consultar-se com seu médico antes de começarem a se tornar muito mais fisicamente ativas.

Se você está planejando tornar-se muito mais fisicamente ativo do que atualmente, convém começar respondendo a sete questões no boxe abaixo. Se você tem entre 15 e 69 anos de idade, o PAR-Q lhe dirá se precisa consultar seu médico antes de começar. Se você tem mais de 69 anos de idade e não costumava ser muito ativo, consultar seu médico.

O bom senso é seu melhor guia ao responder essas questões. Queira ler as questões com extremo cuidado e responder cada uma delas com honestidade: checar **SIM** ou **NÃO**.

SIM	NÃO	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1. Seu médico já lhe disse que você é portador de uma afecção cardíaca e que somente deve realizar a atividade física recomendada por um médico?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. Você sente dor no tórax quando realiza uma atividade física?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3. No último mês, você teve dor torácica quando não estava realizando uma atividade física?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. Você perdeu o equilíbrio em virtude de uma tonteira ou já perdeu a consciência?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. Você sofre de algum problema ósseo ou articular que poderia ser agravado por uma mudança em sua atividade física?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6. Seu médico está lhe receitando atualmente medicamentos (por exemplo, diuréticos) para pressão arterial ou alguma condição cardíaca?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7. Você está a par de alguma outra razão pela qual não deveria realizar uma atividade física?

SIM para uma ou mais questões

Se
você
respondeu

Falar com seu médico por telefone ou pessoalmente ANTES de começar a se tornar muito mais fisicamente ativo ou antes de realizar uma avaliação para aptidão. Falar com seu médico acerca do PAR-Q e das questões para as quais sua resposta foi SIM.

- Você pode ser capaz de realizar qualquer atividade que queira—desde que comece lentamente e que progrida gradualmente. Ou, você pode ter que restringir suas atividades àquelas que são seguras para você. Fale com seu médico acerca dos tipos de atividades de que deseja participar, e siga seu conselho.
- Descubrir que programas comunitários são seguros e úteis para você.

NÃO a todas as questões

Se você respondeu não com honestidade a todas as questões do PAR-Q, então pode estar razoavelmente seguro de que pode:

- começar a tornar-se muito mais fisicamente ativo—começar lentamente e progredir gradualmente. Esta é a maneira mais segura e mais fácil de prosseguir.
- tomar parte em uma avaliação da aptidão—esta é uma excelente maneira de determinar sua aptidão básica, para que possa planejar a melhor maneira de viver ativamente.

ESPERAR PARA TORNAR-SE MUITO MAIS ATIVO:

- se você não está se sentindo bem em virtude de uma enfermidade temporária tipo resfriado ou febre—esperar até sentir-se melhor; ou
- se você está ou pode estar grávida—falar com seu médico antes de começar a tornar-se mais ativa.

Queira observar: Se sua saúde se modificou, de forma que agora você responde sim a qualquer uma das questões acima, informar seu profissional de aptidão ou de saúde. Perguntar se você deve modificar seu plano de atividade física.

Utilização consciente do PAR-Q: A Canadian Society for Exercise Physiology, Health Canada, e seus agentes não assumem qualquer responsabilidade pelas pessoas que realizam uma atividade física e, se estiverem em dúvida após completar este questionário, consultem seu médico antes de realizar a atividade física.

Você é encorajado a copiar o PAR-Q, porém somente se utiliza o formulário inteiro

NOTA: Se o PAR-Q está sendo fornecido a uma pessoa antes de ela participar de um programa de atividade física ou de uma avaliação da aptidão, esta seção pode ser utilizada com finalidades legais ou administrativas.

Lí, compreendi e completei este questionário. Todas as dúvidas que eu tinha foram respondidas de uma maneira plenamente satisfatória.

NOME _____

ASSINATURA _____ DATA _____

ASSINATURA DO PROGENITOR _____ TESTEMUNHA _____
ou do TUTOR (para a participação antes da maioridade)

© Sociedade Canadense para a Fisiologia do Exercício
Société canadienne de physiologie de l'exercice

Supervisionado por:

