

O EFEITO DA FADIGA DO QUADRÍCEPS E ISQUIOSTIBIAIS NO SENSO DE POSIÇÃO DA ARTICULAÇÃO DO JOELHO

Frédéric Mallrich¹, Jose Inacio Salles Neto², Pedro Ribeiro³

- 1 Escola de Educação Física e Desportos, Universidade Federal do Rio de Janeiro
- 2 Sports and Exercise Medicine, Queen Mary University of London, London, UK
- 3 Escola de Educação Física e Desportos, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Correspondência para: fredmallrich@gmail.com

Submetido em 08 de maio de 2020

Primeira decisão editorial em 14 de junho de 2020.

Aceito em 06 de dezembro de 2020

RESUMO

Introdução: A função proprioceptiva precisa favorece o controle das ações musculares. Sendo assim, a avaliação proprioceptiva é importante, uma vez que o controle neuromuscular depende do desempenho proprioceptivo. Tendo em vista que a fadiga muscular pode potencializar o déficit proprioceptivo, a manutenção do sistema sensorial funcionando satisfatoriamente pode ser importante a fim de minimizar riscos de lesões. Entretanto a fadiga pode ser provocada por tarefas de curta duração e alta intensidade ou longa duração e intensidade moderada. As pesquisas que investigaram esse tema encontraram resultados controversos, mostrando que não há consenso na literatura sobre os mecanismos que afetam negativamente a propriocepção.

Objetivo: O objetivo do presente estudo foi investigar se o senso de posição articular é influenciado por uma tarefa de fadiga realizada para movimentos de flexão e extensão da articulação do joelho, em uma intensidade correspondente a 70% do torque máximo.

Método: A amostra por conveniência de 42 sujeitos de ambos os sexos (13 mulheres e 29 homens; idade: $26,8 \pm 6,2$ anos, peso: $70,9 \pm 11,3$ kg, estatura: $173,1 \pm 8,4$ cm) participou do estudo. Os testes

e o exercício de fadiga foram realizados no dinamômetro isocinético (Humac Norm CSMI – certificação ISO9001), padrão-ouro para medidas de força. O teste de reprodução da posição articular ativo foi utilizado para avaliar o SPA antes (SPA1) e após (SPA2) a tarefa de fadiga. Os participantes foram divididos em 3 grupos: o primeiro grupo realizou a tarefa de fadiga no quadríceps (QUA) e isquiotibiais (ISQ) separadamente; o segundo realizou a tarefa de fadiga no quadríceps e isquiotibiais simultaneamente (QUA+ISQ); e o terceiro grupo realizou apenas a avaliação do SPA (CON). Resultado: O principal resultado do estudo indicou que a tarefa de fadiga não provocou alterações significativas no SPA do joelho. A ANOVA *two way* não revelou diferenças significativas para a comparação entre os grupos (QUA, ISQ, QUA+ISQ e CON) ($F= 1,80$ e $p = 0,153$) e SPA 1 e SPA3 ($F= 1,80$ e $p = 0,183$). Assim como, não foi observada interação significativa entre grupos e momentos ($F= 0,39$ e $p = 0,76$). Conclusão: O estudo concluiu que a tarefa de fadiga adotada na atual pesquisa não induziu alterações deletérias no senso de posição articular avaliado pelo teste de reprodução da posição articular ativo.

Palavras-chave: joelho, senso de posição articular, fadiga.

QUADRICEPS AND HAMSTRINGS FATIGUE EFFECT ON KNEE JOINT POSITION SENSE

ABSTRACT

Introduction: Accurate proprioceptive function enables the proper control of muscle actions. In this sense, proprioceptive evaluation is important once neuromuscular control depends on proprioceptive performance. Bearing in mind that muscle fatigue can potentiate proprioceptive deficit, maintaining the sensory system functioning satisfactorily can be important in order to minimize the risk of injury. However, fatigue can be caused by tasks of short duration and high intensity or long duration and moderate intensity. Research that investigated this topic found controversial results, showing that there is no consensus in the literature on the mechanisms that negatively affect proprioception. Objective: The aim of the present study was to investigate if joint position sense (JPS) is influenced by a fatigue task performed for flexion and extension movements of the knee joint, at an intensity of 70% of maximum torque. Method: The convenience sample of 42 subjects of both sexes (13 women and 29 men; age: 26.8 ± 6.2 years,

weight: 70.9 ± 11.3 kg, height: 173.1 ± 8.4 cm) participated in the study. The tests and the fatigue exercise were performed on the isokinetic dynamometer (Humac Norm CSMI - ISO9001 certification), the gold standard for strength measurements. An active reproduction of joint positioning test was used to evaluate JPS before and after the fatigue task. Participants were divided into 3 groups: the first group was submitted to the fatigue task on the quadriceps (QUAD) and hamstrings (HAMS) separately; the second group was submitted to the fatigue task on the quadriceps and hamstrings simultaneously (QUAD+HAMS); and the third group (control group - CON) was only submitted to JPS evaluation. Result: The main result of the study indicated that the fatigue task did not cause significant changes on knee JPS. The two-way ANOVA did not reveal significant differences for the comparison between the groups (QUA, ISQ, QUA + ISQ and CON) ($F = 1.80$ and $p = 0.153$) and JPS1 and JPS3 ($F = 1.80$ and $p = 0.183$). As well, there was no significant interaction between groups and moments ($F = 0.39$ and $p = 0.76$). Conclusion: The study concluded that the fatigue task adopted in the current research did not induce deleterious alterations in the JPS evaluated by the active reproduction test.

Key words: Proprioception, repositioning test, exercise.

EL EFECTO DE LA FATIGA EN LOS CUADRICEPS E ISQUIOTIBIALES EN SENSO DE LA POSICIÓN DE LA ARTICULACIÓN DE LA RODILLA".

RESUMEN

Introducción: la función propioceptiva precisa favorece el control de las acciones musculares. Por lo tanto, la evaluación propioceptiva es importante, ya que el control neuromuscular depende del rendimiento propioceptivo. Teniendo en cuenta que la fatiga muscular puede potenciar el déficit propioceptivo, mantener el funcionamiento del sistema sensorial de manera satisfactoria puede ser importante para minimizar el riesgo de lesiones. Sin embargo, la fatiga puede ser causada por tareas de corta duración y alta intensidad o larga duración e intensidad moderada. La investigación que investigó este tema encontró resultados controvertidos, mostrando que no hay consenso en la literatura sobre los mecanismos que afectan negativamente la propiocepción. Objetivo: El objetivo del presente estudio fue investigar si el sentido de la posición de la articulación está influenciado por una tarea de fatiga realizada para los movimientos de flexión y extensión de la articulación de la rodilla, a una intensidad correspondiente al 70% del par máximo. Método: la muestra de conveniencia de 42 sujetos de

ambos sexos (13 mujeres y 29 hombres; edad: 26.8 ± 6.2 años, peso: 70.9 ± 11.3 kg, altura: 173.1 ± 8.4 cm) participó en el estudio. Las pruebas y el ejercicio de fatiga se realizaron en el dinamómetro isocinético (Norma Humac CSMI - certificación ISO9001), el estándar de oro para las mediciones de fuerza. La prueba de reproducción de la posición articular activa se utilizó para evaluar el SPA antes (SPA1) y después (SPA2) de la tarea de fatiga. Los participantes se dividieron en 3 grupos: el primer grupo realizó la tarea de fatiga en los cuádriceps (QUA) y los isquiotibiales (ISQ) por separado; el segundo realizó la tarea de fatiga en los cuádriceps y los isquiotibiales simultáneamente (QUA + ISQ); y el tercer grupo realizó solo la evaluación SPA (CON). Resultado: El resultado principal del estudio indicó que la tarea de fatiga no causó cambios significativos en el SPA de la rodilla. El ANOVA de dos vías no reveló diferencias significativas para la comparación entre los grupos (QUA, ISQ, QUA + ISQ y CON) ($F = 1.80$ y $p = 0.153$) y SPA 1 y SPA3 ($F = 1.80$ y $p = 0.183$). Además, no hubo interacción significativa entre grupos y momentos ($F = 0.39$ y $p = 0.76$). Conclusión: El estudio concluyó que la tarea de fatiga adoptada en la investigación actual no indujo cambios perjudiciales en el sentido de la posición articular evaluada mediante la prueba de reproducción activa de la posición articular.

Palabras clave: rodilla, sentido de la posición articular, fatiga.

INTRODUÇÃO

A função proprioceptiva precisa favorece o controle das ações musculares (RIEMANN & LEPHART, 2002). Este processo ocorre em função da integração de informações aferentes sensoriais dos mecanorreceptores periféricos (fusos musculares, órgãos tendinosos de Golgi, receptores articulares e cutâneos) e do processamento central (MYERS et al, 2006). Entre as submodalidades da propriocepção, o senso de posição articular (SPA) é utilizado para avaliar o desempenho proprioceptivo do joelho (OLSSON et al, 2004), através do teste de reprodução da posição articular (RPA), que consiste na tarefa de reproduzir uma posição articular previamente vivenciada sem auxílio da visão (RIBEIRO & OLIVEIRA, 2008).

Nas atividades esportivas e em tarefas do cotidiano, as pessoas vivenciam a fadiga muscular. A fadiga muscular é definida como qualquer redução na capacidade do sistema neuromuscular em gerar força (TAYLOR et al, 2000) e pode pré-dispor homens e mulheres atletas ao aumento no risco de lesões ligamentares devido a alterações proprioceptivas na articulação do joelho (ROZZI et al, 1999). Estudos investigaram se a fadiga pode provocar alterações no desempenho

proprioceptivo (RIBEIRO & OLIVEIRA, 2008, SKINNER et al, 1986, MARKS & QUINNEY et al, 1993, MARKS, 1994, MIURA et al, 2004, GIVONI et al, 2007, YING et al, 2010, ALLEN et al, 2010, RIBEIRO et al, 2010, GEAR, 2011, CHANGELA & RAMAPRABHU, 2012). Enquanto atividades aeróbias ou de longa duração provocaram déficits proprioceptivos (SKINNER et al, 1986, CHANGELA & RAMAPRABHU, 2012), atividades de curta duração não influenciaram a propriocepção (BIGLAND-RITCHIE et al, 1986).

Os estudos citados utilizaram diferentes tarefas de fadiga e são limitados a explicar os resultados específicos de cada protocolo adotado. O estudo de revisão de Hiemstra et al (2001) mostrou não haver consenso na literatura sobre a associação entre a fadiga neuromuscular induzida por exercícios locais ou gerais e um declínio na acurácia proprioceptiva. Como as pesquisas utilizam diferentes protocolos de fadiga com durações e intensidades variadas, a comparação entre elas se torna complexa. Além disso, referente a esse tema, os resultados sempre terão a característica de tarefa-dependência. Ou seja, protocolos diferentes poderão apresentar resultados controversos. Diferentes durações e intensidades precisam continuar sendo investigadas com intuito de compreender se existe alguma tendência de comportamento do sistema proprioceptivo mediante à influência de determinada tarefa de fadiga. A hipótese do presente estudo sugere que tarefa de fadiga de alta intensidade e curta duração, não causa alterações no desempenho proprioceptivo.

O objetivo do presente estudo foi investigar a influência da fadiga no senso de posição da articulação do joelho em sujeitos saudáveis, utilizando o teste de RPA ativo.

MÉTODOS

A amostra por conveniência de 42 sujeitos de ambos os sexos (13 mulheres e 29 homens; idade: $26,8 \pm 6,2$ anos, peso: $70,9 \pm 11,3$ kg, estatura: $173,1 \pm 8,4$ cm) participou do estudo. Os critérios de inclusão foram: 1) idade entre 18 e 40 anos; 2) ausência de lesão articular ou qualquer outra estrutura do joelho contralateral; 3) não ter sido submetido à cirurgia no joelho 4) não possuir sinais de degeneração articular (caracterizado por crepitação articular em qualquer um dos compartimentos do joelho). Anteriormente aos testes, os sujeitos foram informados dos benefícios e possíveis riscos envolvidos na realização do experimento através do termo de consentimento livre e esclarecido. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética do Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia Jamil Haddad – INTO – conforme a Resolução do Conselho Nacional de Saúde nº 466 de 12/12/2012 sob o número na Plataforma Brasil CAAE: 29345214.3.0000.5273.

Os participantes da pesquisa foram divididos em 3 grupos sem separação por gênero. O grupo experimental 01 (um), composto por 14 sujeitos, foi avaliado no grupo muscular quadríceps femoral (**QUAD**) e no grupo muscular isquiotibiais (**ISQ**) separadamente. O grupo experimental 02 (dois) (N=14), foi avaliado simultaneamente nos grupos musculares quadríceps femoral e isquiotibiais (**QUAD+ISQ**). O grupo 03 (três), composto por 14 sujeitos, foi o grupo controle (**CON**).

Os sujeitos assinaram uma declaração de consentimento, onde foi descrita em detalhes a condição experimental. Todos os dados foram coletados do lado correspondente ao membro inferior dominante. O questionário de lateralidade “Inventário de Edinburgo” foi utilizado para determinação do lado dominante dos sujeitos através da pergunta: “Qual perna você, normalmente, utilizaria para chutar uma bola?”(OLDFIEL, 1971). Os testes e o exercício de fadiga foram realizados no dinamômetro isocinético (Humac Norm CSMI – certificação ISO9001), padrão-ouro para medidas de força. A avaliação do senso de posição articular (SPA) para investigar o desempenho proprioceptivo, demonstrou boa confiabilidade no dinamômetro isocinético (OLSSOM et al, 2004).

Desenho experimental

O dinamômetro isocinético foi regulado para limitar a amplitude articular (AA) do voluntário em 90° de flexão do joelho, considerando a extensão completa como grau zero (0°). A amplitude articular foi medida com o indivíduo sentado no dinamômetro isocinético, o encosto foi regulado em 85° e o côndilo femoral alinhado ao eixo de rotação do dinamômetro. A parte distal da perna do membro testado foi fixada à extremidade da base do braço de alavanca por velcro. A visão foi ocluída para que o sujeito não se beneficiasse deste sentido e as mãos ficaram apoiadas na lateral do aparelho. O ângulo de 45°, correspondente a 50% da AA, foi denominado “posição meta” (PM).

O desenho experimental está representado na figura 1. Com o voluntário preparado, iniciou a avaliação do SPA (SPA1), sem influência da fadiga. As instruções foram fornecidas verbalmente pelo examinador. Os sujeitos foram instruídos a estender o joelho a partir do ângulo de 90° de forma lenta e controlada até a PM (45° de flexão do joelho) e manter uma contração isométrica por 5 segundos. Como o movimento foi voluntário, nenhuma velocidade foi pré-definida. Em seguida foi orientado para que retornasse lentamente a articulação à posição inicial (90° de flexão do joelho) e imediatamente reproduzisse a posição de referência (45°). Ao chegar à posição que supôs ser a PM (45°), o participante indicou a escolha através

de relato verbal. Essa posição foi denominada “Posição de Reposição” (PR). Esse procedimento foi repetido cinco vezes. A diferença em graus entre a PR e a PM foi registrada.

Figura 1. Sequência dos testes: SPA1, familiarização, teste de força máxima, SPA2, tarefa de fadiga e SPA3



SPA = senso de posição articular; TM = torque máximo

Logo em seguida, iniciou a familiarização, que serviu para os sujeitos aprenderem a executar satisfatoriamente o teste de torque máximo (TM). A regulação do dinamômetro isocinético foi mantida para permitir a AA de 90° da articulação do joelho. Na familiarização os sujeitos realizaram 5 repetições concêntrica-concêntrica de extensão e flexão da articulação do joelho, na velocidade angular de 60°/s, sem intensidade previamente estipulada. Os sujeitos foram orientados a realizar a primeira repetição com pouca força e aumentar gradativamente de forma que a última repetição fosse realizada com a força que o sujeito julgou se aproximar da força máxima.

Após 10 minutos de intervalo, iniciou o teste do TM, que consistiu em cinco repetições de extensão e flexão do joelho na velocidade angular de 60°/s no modo concêntrico-concêntrico. Essa velocidade angular é comumente utilizada em pesquisas, quando o objetivo é medir a força muscular máxima (KANNUS & BEYNNON, 1993).

Foi concedido ao participante 10 minutos de descanso após o TM, para recuperação do sistema energético ATP-CP, antes de iniciar o protocolo de fadiga. No estudo de Bilcheck et al, (1993), o descanso de 2,5 minutos foi suficiente para permitir a recuperação da força do quadríceps. Durante esse intervalo (no 5° minuto), foi realizada outra avaliação do SPA (SPA2). Logo após o término do descanso de 10 minutos, o avaliado foi submetido ao protocolo de fadiga. O avaliador calculou o valor em Newtons-metro correspondente a 70% do TM. O objetivo do teste foi manter contrações dinâmicas concêntricas na velocidade angular de 60°/s realizando a força correspondente a 70% do TM. Os sujeitos tinham um monitor à sua frente como *feedback* visual do torque que estavam gerando a cada movimento de flexão e extensão do joelho. Dessa forma,

tanto o avaliador como o participante podiam acompanhar se as execuções estavam sendo realizadas a 70% do TM. O teste foi interrompido quando o sujeito realizou 3 repetições consecutivas abaixo de 70% do TM devido à fadiga muscular. No grupo QUAD + ISQ a tarefa foi interrompida somente quando os dois grupos musculares não conseguiram manter 70% do TM durante três repetições consecutivas. Imediatamente após a tarefa de fadiga, o participante realizou a terceira avaliação do SPA (SPA3), sendo que dessa vez sob influência da fadiga gerada no teste.

O grupo experimental 01 (um) realizou os testes em dois dias distintos com uma semana de intervalo entre as avaliações. No primeiro dia realizou tarefa de indução de fadiga no músculo quadríceps (QUAD) e no segundo dia realizou a tarefa de indução de fadiga dos isquiotibiais (ISQ). Foi comparado o SPA1 (sem influência da fadiga) com o SPA3 (com influência da fadiga) nos dois dias. O grupo experimental dois (QUAD + ISQ) realizou o protocolo em um único dia e também foi comparado o SPA1 com SPA3. Da mesma forma, o grupo controle (CON) realizou o protocolo de exercícios em apenas um dia, mas como não passou pela tarefa de fadiga, não realizou o teste do SPA2 e a comparação foi entre o SPA 1 e SPA3, respeitando o tempo de intervalo entre as tarefas. Ou seja, o grupo CON realizou o SPA1 e 10 minutos depois, realizou o SPA3.

Determinação do erro individual e cálculo da acurácia proprioceptiva

O desempenho proprioceptivo foi determinado através dos valores do erro absoluto (EA). O EA de cada tentativa, foi determinado pela diferença absoluta entre a PR e PM (em graus sem sinal) (SCHMIDT & LEE, 2011).

Análise Estatística

As análises estatísticas foram realizadas pelo software *Statistical Package for Social Sciences* (IBM SPSS Statistics 19). Primeiramente, foi gerada estatística descritiva (mean \pm SD) para os dados coletados. Após, ANOVAs (*two-way*) separadas foram realizadas tendo “grupo” (QUA, ISQ, QUA+HAMS e CON) e “momentos” (SPA1, SPA2, SPA3) como fatores. Especificamente, a primeira ANOVA comparou grupos (QUA, ISQ, QUA+HAMS e CON) e momentos (SPA1 e SPA3). A segunda ANOVA comparou grupos (QUA, ISQ, QUA+HAMS e CON) e momentos (SPA1 e SPA2). As análises foram realizadas separadamente porque o grupo CON não realizou a avaliação do SPA2.

A segunda ANOVA, comparando o SPA1 e SPA2, foi necessária para identificar se o SPA2, foi influenciado pelo teste de TM. A ANOVA (*one-way*) foi realizada para comparar o nível de fadiga (expresso em % do TM) alcançado pelos diferentes grupos musculares após a tarefa de fadiga. A variável dependente foi o EA. Para todos os testes, a significância estatística foi definida em $p < 0.05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Erro absoluto

A ANOVA *two way* não revelou diferenças significativas para a comparação entre os grupos (QUA, ISQ, QUA+ISQ e CON) ($F = 1,80$ e $p = 0,153$) e SPA 1 e SPA3 ($F = 1,80$ e $p = 0,183$). Assim como, não foi observada interação significativa entre grupos e momentos ($F = 0,39$ e $p = 0,76$). Os valores brutos encontrados estão ilustrados na tabela 1.

Tabela 1: erro absoluto no SPA1 e SPA3. Média (\pm DP)

Grupo	SPA1	SPA3
QUAD	2,76 ($\pm 0,86$)	2,17 ($\pm 1,00$)
ISQ	2,26 ($\pm 0,77$)	2,02 ($\pm 1,08$)
QUAD+ISQ	2,57 ($\pm 1,01$)	2,45 ($\pm 0,96$)
CON	2,79 ($\pm 1,05$)	2,71 ($\pm 1,12$)

A ANOVA *two way* não revelou diferença significativas para a comparação de grupos (QUA, ISQ e QUA+ISQ) ($F = 1,44$ e $p = 0,24$) e SPA 1 e SPA 2 ($F = 0,31$ e $p = 0,58$). Assim como, não foi observada interação significativa entre grupos e momentos ($F = 1,18$ e $p = 0,31$). Os valores brutos encontrados estão na tabela 2.

Tabela 2: Erro absoluto no SPA1 e SPA2. Média (\pm DP)

Grupo	SPA1	SPA2
Quadríceps	2,76 ($\pm 0,86$)	2,67 ($\pm 1,29$)
Isquiotibiais	2,26 ($\pm 0,77$)	2,51 ($\pm 0,78$)
Quadríceps+Isquiotibiais	2,57 ($\pm 1,01$)	2,05 ($\pm 0,83$)

Tarefa de Fadiga

A ANOVA *one way* não revelou diferença significativa na comparação entre os grupos (QUA, ISQ e QUA+ISQ) ($F=0,66$ e $p=0,58$). Os valores encontrados estão demonstrados na tabela 3.

Tabela 3: Percentual do TM mantido entre grupos (quadríceps, ísquiostibiais e quadríceps + ísquiostibiais durante a tarefa de fadiga. Média (\pm DP)

Grupo	% do TM (Nm) (\pmDP)
QUAD grupo experimental 1	77,66 (\pm 3,48)
ISQ grupo experimental 1	79,70 (\pm 5,00)
QUAD grupo experimental 2	77,23 (\pm 4,55)
ISQ grupo experimental 2	78,20 (\pm 4,91)

Entre as limitações do estudo, está a falta de controle de outras variáveis, como a produção de lactato, atividade eletromiográfica e o número de repetições da tarefa de fadiga para os diferentes grupos musculares. A ordem de avaliação do quadríceps e ísquiostibiais do grupo um poderia ter sido randomizada para verificar se isso influenciaria nos resultados. Também não foi calculado o índice de fadiga provocado pela tarefa. Ficou claro durante aplicação da tarefa, que os sujeitos terminavam extenuados, mas quantificação dessa informação poderia ter ajudado a explicar os resultados.

O presente estudo investigou a influência de uma tarefa de fadiga no desempenho proprioceptivo da articulação do joelho, através da avaliação do SPA, utilizando o teste de RPA ativo. O principal resultado do estudo foi que a tarefa de fadiga imposta aos sujeitos, não provocou alterações significativas no SPA do joelho. O interesse pelo tema do presente estudo surgiu a partir da importância da precisão proprioceptiva e sua correlação com a estabilidade articular e o desempenho neuromuscular (CHANGELA & RAMAPRABHU, 2012). Pesquisadores defendem que o déficit proprioceptivo pode ser potencializado pela fadiga muscular, prejudicando o desempenho motor (GIVONI et al, 2007). Isso pode ser preocupante visto que constantemente as pessoas, jovens ou idosos, são suscetíveis a vivenciar situações de estresse e fadiga muscular em tarefas cotidianas.

Entre as investigações a respeito do efeito da fadiga muscular no desempenho proprioceptivo, alguns pesquisadores mostraram que o SPA piora após tarefa de fadiga (SKINNER et al, 1986, MARKS, 1994, GIVONI et al, 2007, RIBEIRO et al, 2010, CHANGELA & RAMAPRABHU, 2012), enquanto outros não encontraram diferença significativa no SPA comparado antes e após tarefa de fadiga (MARKS & QUINNEY, 1993). A falta de homogeneidade nos protocolos das

tarefas de fadiga pode influenciar nas divergências entre os resultados dos estudos que investigaram o efeito da fadiga na propriocepção. Os mecanismos causadores da fadiga variam de acordo com os detalhes da tarefa (BIGLAND-RITCHIE, 1981, BIGLAND_RITCHIE & RICE, 1995), caracterizando a tarefa-dependência da fadiga muscular. Os processos fisiológicos em virtude de uma tarefa física dependem da motivação do sujeito, flexibilidade no comando central, intensidade e duração da atividade, velocidade, tipo da contração (concêntrica, isométrica ou excêntrica) e o quanto que a atividade pode ser sustentada continuamente (ENOKA & STUART, 1992).

Com intuito de minimizar a variação na intensidade da tarefa de fadiga entre os participantes, o presente estudo não optou por definir previamente o número de repetições do exercício e adotou um protocolo que envolveu indução da fadiga através de exercício realizado na intensidade de 70% do torque máximo (TM) no dinamômetro isocinético. A fadiga foi estabelecida, com a interrupção da tarefa no momento que os sujeitos não conseguiram mais gerar força o suficiente para atingir 70% do TM. Entretanto, os sujeitos não conseguiram realizar, por falta de habilidade, as repetições da tarefa de fadiga exatamente em 70% do TM. A média do percentual do TM vivenciado pelos sujeitos na tarefa pode ser observado na tabela 3, mostrando que não houve diferença significativa entre os grupos ($F=0,66$ e $p=0,58$). Conforme a fadiga aumentava durante a tarefa, o percentual do TM mantido pelos participantes foi baixando. A tarefa foi interrompida quando os participantes, visivelmente fadigados, executaram 3 repetições consecutivas abaixo de 70% do TM. Medir o TM após a tarefa de fadiga poderia ajudar a identificar o índice de fadiga de cada participante, entretanto esse procedimento não foi adotado por falta de tempo hábil, visto que o teste do SPA teve que ser realizado imediatamente após a tarefa de fadiga. No grupo QUAD+ISQ, os grupos musculares quadríceps e ísquiotibiais dos voluntários, não chegaram simultaneamente ao momento de fadiga pré-estabelecido pelo estudo. O número de repetições foi discrepante entre esses grupos musculares. Esse viés não foi colocado na análise estatística e comprometeu os resultados conforme foi citado entre as limitações do estudo.

Não existe consenso sobre a melhor forma de provocar fadiga em experimentos com intuito de induzir alterações no SPA (HIEMSTRA et al, 2001). Os mecanismos de fadiga não são claros e a influência na propriocepção não é conclusiva. Entre os estudos que encontraram piora no desempenho proprioceptivo após o exercício, estão os que utilizaram tarefas de longa duração para gerar fadiga (MIURA et al, 2004, GIVONI et al, 2007, ALLEN et al, 2010, CHANGELA & RAMAPRABHU, 2012). Esse tipo de atividade provoca mais alterações no sistema nervoso

central (SNC) do que atividades muito intensas de curta duração (BIGLAND-RITCHIE et al, 1986, FUGLEVAND et al, 1993). Exercícios de longa duração, costumam ser executados em intensidade baixa a moderada. Tarefas que envolvem força baixa a moderada comprometem os processos associados com o acoplamento excitação-contração (BIGLAND-RITCHIE et al, 1986) e provocam maior redução da amplitude da onda M, que resulta da estimulação direta do axônio motor que inerva o músculo. Não se pode afirmar que essa é a explicação para piora no SPA após tarefa de fadiga envolvendo atividade de longa duração. Outros estudos são necessários para investigar esses processos neurofisiológicos e relacioná-los com a fadiga e propriocepção.

Os estudos que optaram pelas tarefas de fadiga que envolviam especificamente os grupos musculares que movimentam o joelho, variaram entre indução da fadiga do quadríceps (MARKS & QUINNEY, 1993), dos isquiotibiais (GEAR, 2011) ou ambos (MIURA, 1994). O presente estudo tentou se diferenciar dos demais incluindo tarefas de fadiga localizadas nos grupos musculares quadríceps e isquiotibiais, separadamente, e em contrações consecutivas de flexão e extensão do joelho que tinham como consequência a fadiga do quadríceps e isquiotibiais ao terminar a tarefa.

Portanto, no grupo QUAD do atual estudo, somente o músculo quadríceps foi fadigado. A tarefa de fadiga provocou maiores efeitos de depleção das fontes energéticas na estrutura anterior da coxa, enquanto a estrutura posterior não sofreu efeito da fadiga. Estando o quadríceps com um déficit sensorial ou não, os isquiotibiais podiam continuar enviando informações sensoriais aferentes, e conseqüentemente, contribuindo para o desempenho proprioceptivo da articulação do joelho, mesmo com o quadríceps fadigado. Os resultados do presente estudo corroboram com a pesquisa de Marks e Quiney (1993), que não encontraram efeito significativo da fadiga no senso de posição articular fadigando apenas o músculo quadríceps. Após a tarefa de fadiga dos isquiotibiais, o teste de reprodução da posição articular foi realizado com o quadríceps íntegro. À medida que o joelho foi sendo estendido durante o teste proprioceptivo, a própria contração do quadríceps acionou os fusos musculares enviando as informações aferentes necessárias para identificar a posição articular. Mesmo que as informações sensoriais provenientes dos isquiotibiais estivessem comprometidas, isso não comprometeria o SPA, devido a efetiva participação sensorial dos fusos musculares do quadríceps. Após induzir simultaneamente o quadríceps e os isquiotibiais à fadiga localizada, a avaliação do SPA continuou sem apresentar piora, comparada com a avaliação realizada no momento pré-fadiga. Experimentos em animais mostraram que exercícios intensos não provocam distúrbios nas

propriedades dos fusos musculares (GREGORY et al, 2004) ou órgãos tendinosos (GREGORY et al, 2004). Supostamente, a duração e/ou intensidade da tarefa de fadiga adotada no atual estudo foi insuficiente para produzir efeitos fisiológicos que prejudicassem o SPA.

Pesquisadores sugeriram que os mecanorreceptores articulares e OTG não são comprometidos após a tarefa de fadiga realizada em esteira rolante (SKINNER et al, 1986). Tendo essa informação como base, no atual estudo, durante a execução do SPA3, os mecanorreceptores articulares e OTG podem ter auxiliado no SPA, caso os fusos musculares estivessem realmente comprometidos em virtude da tarefa de fadiga. Entretanto outros estudos são necessários para comprovar essa hipótese. As tentativas de reposicionamento durante o teste proprioceptivo podem levar a crer em um aprendizado motor na execução do teste, e conseqüentemente, a conclusões equivocadas. No presente estudo, a avaliação do SPA1, SPA 2 e SPA3, não caracterizou aprendizado, visto que a análise estatística não apresentou diferenças significativas entre o EA nessas avaliações. A importância de realizar o SPA2, foi confirmar que o SPA não foi influenciado pelo teste do TM, antes de realizar o protocolo de fadiga. Os resultados confirmaram que não houve diferença estatisticamente entre o SPA1 e SPA2 dos grupos QUAD, ISQ e QUAD + ISQ ($F= 0,31$ e $p = 0,58$).

Futuros estudos podem utilizar outros protocolos com diferentes velocidades angulares e durações da tarefa de fadiga. Além disso, seria interessante medir a atividade eletromiográfica, produção de lactato do sangue e calcular o índice de fadiga para tentar monitorar o nível de fadiga dos participantes.

CONCLUSÃO

O senso de posição da articulação do joelho foi medido para verificar se poderia ocorrer redução no desempenho proprioceptivo após fadiga do quadríceps e isquiotibiais. O estudo concluiu que a tarefa de fadiga adotada na atual pesquisa não induziu alterações deletérias no SPA avaliado pelo teste de reprodução da posição articular ativo. Os músculos quadríceps e isquiotibiais fadigados separadamente ou simultaneamente, não comprometeram a habilidade de reproduzir a posição articular alvo. Outras intensidades na tarefa de fadiga precisam ser testadas para verificar se ocorrerão alterações no SPA nos grupos musculares quadríceps e isquiotibiais.

REFERÊNCIAS

1. RIEMANN BL, LEPHART SM. The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. **Journal of Athletic Training**. 2002 a; .37(1): 71–79.
2. MYERS JB, WASSINGER CA, LEPHART SM. Sensorimotor contribution to shoulder stability: effect of injury and rehabilitation. **Man Ther**. 11(3): 197-201, 2006.
3. OLSSON L, LUND H, HENRIKSEN M, ROGIND H, BLIDDAL H, DANNESKIOLD-SAMSOE B. Test-retest Reliability of a Knee Joint Position Sense Measurement Method in Sitting and Prone Position. **Advances in Physiotherapy**. 2004; 6:37-47.
4. RIBEIRO F., OLIVEIRA J. Efeito da fadiga muscular local na propriocepção do joelho. **Fisiot Mov**. 2008; 21(2): 71-83.
5. TAYLOR JL, BUTLER JE, GANDEVIA SC. Changes in muscle afferents, motoneurons and motor drive during muscle fatigue. **Eur J Appl Physiol**. 2000; 83:106-15.
6. ROZZI, SL, LEPHART SM, FU FH. Effects of muscular fatigue on knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female athletes. **J. Athletic Training**. 1999; 34: 106-114.
7. SKINNER HB, WYATT MP, HODGDON JA, Conard DW, Barrack RL. Effect of fatigue on joint position sense of the knee. **J Orthop Res**. 1986; 4: 112-118.
8. MARKS R, QUINNEY HA. Effect of fatiguing maximal isokinetic quadriceps contractions on ability to estimate knee-position. **Percept Mot Skills**. 1993; 77: 1195-1202.
9. MARKS R. Effect of exercise-induced fatigue on position sense of the knee. **Aust J Physiother**. 1994; 40 (3): 175-181.
10. MIURA K, ISHIBASHI Y, TSUDA E, OKAMURA Y, OTSUKA H, TOH S. The Effect of Local and General Fatigue on Knee Proprioception. **Arthroscopic**. 2004; 20 (4): 414-418.
11. GIVONI NJ, PHAM T, ALLEN TJ, PROSKE U. The effect of quadriceps muscle fatigue on position matching at the knee. **J Physiol**. 2007; 584.1: 111–119.
12. YING JU Y, WANG CW, CHENG HY. Effects of active fatiguing movement versus passive repetitive movement on knee proprioception. **Clinical Biomechanics**. 2010; 25: 708–712.
13. ALLEN TJ., LEUNG M, PROSKE U. The effect of fatigue from exercise on human limb position sense. **J Physiol**. 2010; 588.8: 1369–1377.

14. RIBEIRO F, VENÂNCIO J, QUINTAS P, OLIVEIRA J. The effect of fatigue on knee position sense is not dependent upon the muscle group fatigued. **Muscle Nerve**. 2010; 44(2): 217-20.
15. GEAR WS. Effect of different levels of localized muscle fatigue on knee position sense. **Journal of Sports Science and Medicine**. 2011; 10: 725-730.
16. CHANGELA, PK, RAMAPRABHU SK. A Study to Evaluate the effect of Fatigue on Knee Joint Proprioception and Balance in Healthy Individuals. **International Journal of Scientific and Research Publications**. 2012; 2 (3): 645-649.
17. BIGLAND-RITCHIE B, CAFARELLI E, VOLLESTAD NK. Fatigue of submaximal static contractions. **Acta Physiol Scand**. 1986; 556: 137-148.
18. HIEMSTRA LA, LÓ IK, FOWLER PJ. Effect of Fatigue on Knee Proprioception: Implications for Dynamic Stabilization. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**. 2001; 31(10): 598-605.
19. OLDFIELD, R. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. **Neuropsychologia**. 1971; 9 (1): 97-113.
20. KANNUS P, BEYNNON B. Peak torque occurrence in the range of motion during isokinetic extension and flexion of the knee. **Int J Sports Med**. 1993;14(8):422-6.
21. BILCHECK HM, KRAEMER WJ, MARESH CM, ZITO MA. The effects of isokinetic fatigue on recovery of maximal isokinetic concentric and eccentric strength in women. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 1993; 7:43-50.
22. SCHMIDT R, LEE T. Motor control and learning: a behavioral emphasis. 5th ed. Champaign: Human Kinetics; 2011.
23. BIGLAND-RITCHIE B. EMG/force relations and fatigue of human voluntary contractions. **Exerc Sport Sci Rev**. 1981; 9: 75-117.
24. BIGLAND-RITCHIE B, RICE CL, Garland SJ, Walsh ML. Task-dependent factors in fatigue of human voluntary contractions. **Adv Exp Med Biol**. 1995; 384: 361-80.
25. ENOKA RM, STUART DG. Neurobiology of muscle fatigue. **J Appl Physiol**. 1992; 72: 1631-48.

26. FUGLEVAND AJ, ZACKOWSKI KM, HUEY KA, ENOKA RM. Impairment of neuromuscular propagation during human fatiguing contractions at submaximal forces. **J Physiol.** 1993; 46: 549-572.
27. GREGORY JE, MORGAN DL, PROSKE U. Responses of muscle spindles following a series of eccentric contractions. **Exp Brain Res.** 2004; 157: 234–40.
28. GREGORY JE, BROCKETT CL, MORGAN DL, WHITEHEAD NP, PROSKE U. Effect of eccentric muscle contractions on Golgi tendon organ responses to passive and active tension in the cat. **J Physiol.** 2002; 538: 209–218.