

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CEILÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO**

JEFFERSON RODRIGUES DORNELES

Influência da marcha na fadigabilidade muscular de indivíduos com lesão medular incompleta comparados a controle pareados

BRASÍLIA/DF

2019

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CEILÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

JEFFERSON RODRIGUES DORNELES

Influência da marcha na fadigabilidade muscular de indivíduos com lesão medular incompleta comparados a controle pareados

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação – PPGCR da Universidade de Brasília (UnB), como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências da Reabilitação.

Área de Concentração: Fundamentos da Avaliação e Intervenção em Ciências da Reabilitação
Linha de Pesquisa: Aspectos Biomecânicos e Funcionais Associados à Prevenção, Desempenho e Reabilitação.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Luiz Carregaro

BRASÍLIA/DF

2019

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

RJ45i	Rodrigues Dorneles, Jefferson Influência da marcha na fadigabilidade muscular de indivíduos com lesão medular incompleta comparados a controle pareados / Jefferson Rodrigues Dorneles; orientador Rodrigo Carregaro. -- Brasília, 2019. 75 p. Tese (Doutorado - Mestrado em Ciências da Reabilitação) - Universidade de Brasília, 2019. 1. Lesão medular incompleta. 2. caminhada. 3. fadigabilidade muscular. 4. flexores de quadril. 5. função neuromuscular. I. Carregaro, Rodrigo, orient. II. Título.
-------	---

**INFLUÊNCIA DA MARCHA NA FATIGABILIDADE MUSCULAR DE INDIVÍDUOS
COM LESÃO MEDULAR INCOMPLETA COMPARADOS A CONTROLE
PAREADOS**

JEFFERSON RODRIGUES DORNELES

Prof. Dr. Rodrigo Luiz Carregaro

Orientador

Prof. Dr. Emerson Fachin Martins

Membro vinculado ao PPGCR e professor da UnB

Prof. Dr. Marcelino Monteiro de Andrade

Membro não vinculado ao PPGCR e professor da UnB

Prof. Josevan Cerqueira Leal

Membro Suplente não vinculado ao PPGCR e professor da UnB

DISSERTAÇÃO APRESENTADA E AVALIADA EM: ____ / ____ / ____.

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais, Fátima Maria Rodrigues Dorneles e Vladimir Barcelos Dorneles, por sempre incentivar meus estudos. A todos os colaboradores (professores, colegas e amigos) que contribuíram para a construção deste projeto. E por fim, aos voluntários da pesquisa, que fizeram deste projeto, uma realidade.

AGRADECIMENTOS

Primeiro, gostaria de agradecer a minha família: pai, irmão, tia Tânia e primo-irmãos Gra e Diego. Obrigado pelo incentivo de sempre e por compreenderem minha ausência (ainda maior) nestes últimos anos.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Carregaro pela confiança, por acreditar no potencial da pesquisa e por todo conhecimento transmitido ao longo destes anos de trabalho.

À Universidade de Brasília e a todos os professores, que de alguma forma, contribuíram no meu conhecimento, dando-me condições para concluir esta etapa acadêmica tão sonhada. Aos professores que participaram das bancas, Profa. Dra. Aline, Prof. Dr. Emerson, Prof. Dr. Marcelino e Prof. Dr. Josevan, agradeço por todas as contribuições, foram muito importantes para o aperfeiçoamento do nosso trabalho.

Aos amigos do grupo de pesquisa (GPAFI), obrigado pelas dicas, troca de experiências e discussões que tivemos ao longo destes anos.

À Rede Sarah Hospitais de Reabilitação, pelo incentivo a pesquisa e por toda a estrutura disponibilizada, que viabilizou a execução deste projeto. Aos voluntários que participaram da pesquisa, muito obrigado pela disponibilidade durante as coletas. Sem vocês, nada seria possível!

Aos amigos Fred, Rodrigo e Carlos, muito obrigado pela parceria dos últimos anos e por “comprarem” a minha ideia, antes mesmo de eu ter uma ideia plenamente definida. Vocês foram fundamentais na construção, execução e fechamento deste trabalho.

Aos profissionais do Lago Norte, agradeço toda a compreensão em disponibilizar horários e espaço para as avaliações, pelas discussões e apoio durante as coletas.

À toda equipe do Programa de Neuroreabilitação em Lesão Medular, em especial aos meus queridos amigos da Terapia Funcional: Poli, Aninha, Dani, Marina, Tânia, Luiz, Renata, Patrícia, por todo incentivo que vocês me transmitiram durante o Mestrado. Existe a contribuição de todos vocês neste trabalho, pois meu maior aprendizado sobre lesão medular é baseado nos atendimentos do dia a dia, onde posso discutir e aprender com vocês.

Aos meus amigos, que se tornaram minha família em Brasília, Gabi, Kal, Amanda, Rafa, Amandinha, Marquinhos, Mari, Paulo e Livia. Agradeço todo o incentivo transmitido e por todo o suporte que vocês sempre me deram.

À minha amiga Gabi, por sempre estar disponível a me ajudar, por todas as brincadeiras que deixam a rotina bem mais leve e pela cumplicidade de sempre.

À minha amiga Ana Claudia, por todo o apoio para que eu conseguisse chegar até aqui, por escutar minhas angústias e reflexões durante o Mestrado e por todos os conselhos que você me deu.

A todos, que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional e me ajudaram a concluir este curso de Mestrado, MUITO OBRIGADO!

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração do posicionamento no dinamômetro isocinético.....	31
Figura 2. Fluxograma do protocolo experimental.....	32
Figura 3. Representação do janelamento utilizado para o cálculo do <i>Root Mean Square</i> (RMS)	35

RELAÇÃO DAS TABELAS

Tabela 1. Características Demográficas dos participantes.....	38
Tabela 2. Resultados do teste de caminhada para indução da fadiga. Dados apresentados em mediana e quartis (25% e 75%).....	39
Tabela 3. Variáveis das Contrações Voluntárias Máximas dos Flexores de quadril obtidas antes e após indução a fadiga pela marcha.....	41
Tabela 4. Variáveis das Contrações Voluntárias Submáximas dos Flexores de quadril obtidas antes e após indução a fadiga pela marcha.....	43

RELAÇÃO DE APÊNDICES

Apêndice I. Ficha de avaliação.....	58
Apêndice II. Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) para o Grupo Lesão Medular incompleta.....	59
Apêndice III. Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) para o Grupo Controle.....	62

RELAÇÃO DE ANEXOS

Anexo A. Avaliação de Atividade física.....	58
Anexo B. Escala de Severidade de Fadiga.....	67
Anexo C. Medida de Independência de Medular Espinhal.....	68
Anexo D. Escala de Ashworth Modificada.....	73
Anexo E. Escala de Borg.....	74
Anexo F. Parecer de aprovação do Comitê de Ética.....	75
Anexo G. Comprovante de submissão de artigo a revista " <i>Muscle and Nerve</i> ".....	76

RELAÇÃO DE SIGLAS E ABREVIATURAS

50% CIVM: contração submáxima à 50% do pico de torque;

AIS: *Asia Impairment Scale*;

C3: terceira vertebra cervical;

CVM: contração máxima voluntária;

CIVM: contração isométrica voluntária máxima;

ENM: eficiência neuromuscular;

ENM_{CIVM}: eficiência neuromuscular da contração voluntária máxima;

ENM_{50%}: eficiência neuromuscular da contração voluntária submáxima;

GC: Grupo Controle;

GLMi: Grupo Lesão Medular incompleta;

IMC: índice de massa corpórea;

ILIO: iliopsoas;

LMi: lesão medular incompleta;

LEMS: *Lower Extremities Motor Score*;

η_p^2 : *Eta Squared* parcial;

PT: pico de torque;

RF: reto femoral;

RMS: *Root Mean Square*;

RMS_{max}: *Root Mean Square* normalizado;

RMS_{CIVM}: *Root Mean Square* da contração isométrica voluntária máxima;

RMS_{50%}: *Root Mean Square* da contração isométrica voluntária submáxima;

SCIM: *Spinal Cord Independence Measure*;

SENIAM: *Surface Electromyography for the Non-invasive Assessment Muscle*;

T10: décima vértebra torácica;

TDF: taxa de desenvolvimento de força.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1. Caracterização da Lesão Medular	19
2.2. Características funcionais de marcha em indivíduos com LMi.....	20
2.3. Fatigabilidade muscular: conceitos e mecanismos	22
2.4. Métodos de avaliação da fatigabilidade muscular	24
2.5. Fatigabilidade muscular em indivíduos com LMi.....	24
3. JUSTIFICATIVA	27
4. OBJETIVOS:	28
4.1. Objetivo geral	28
4.2. Objetivos específicos	28
5. MÉTODO	29
5.1. Tipo de Estudo	29
5.2. Participantes	29
5.3. Medidas de função e Fadiga	30
5.5. Eletromiografia de Superfície	31
5.6. Procedimentos de Avaliação.....	32
5.7. Teste de Indução a Fadiga.....	33
5.8. Avaliação da Fatigabilidade Muscular	33
5.9. Processamento dos Sinais.....	34
5.10. Análise Estatística.....	35
6. RESULTADOS.....	37
6.1. Participantes	37
6.2. Teste de Indução a Fadiga.....	39
6.3. Avaliação da Fatigabilidade Muscular	39
6.3.1. Contração Isométrica Voluntária Máxima	39
6.3.2. Contração Isométrica Submáxima.....	42
7. DISCUSSÃO	44
8. IMPLICAÇÕES CLÍNICAS	48
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
10. REFERÊNCIAS	50

APÊNDICES E ANEXOS57

RESUMO

Introdução: Indivíduos com lesão medular incompleta (LMi) apresentam elevados níveis de gasto energético e percepção de fadigabilidade durante a marcha, principalmente após longas distâncias. Entretanto, a evidência de fadigabilidade muscular após longos períodos de caminhada em indivíduos com LMi ainda é controversa. **Objetivo:** avaliar o impacto de período prolongado de caminhada na fadigabilidade muscular de flexores de quadril, em indivíduos com LMi comparados com indivíduos saudáveis. **Método:** Contrações voluntárias máximas (CIVM) e submáximas (50%CIVM) foram aplicadas antes e após período pré-determinado de caminhada (30 minutos ou até a exaustão), em 24 indivíduos com LMi e 24 indivíduos saudáveis. Pico de torque (PT), taxa de desenvolvimento de força (TDF), *Root Mean Square* (RMS) e eficiência neuromuscular (ENM) foram utilizados para avaliação da fadigabilidade muscular. **Resultados:** Houve maior redução do PT e RMS da CIVM nos indivíduos com LMi após a caminhada. Entretanto, houve redução da TDF apenas para indivíduos saudáveis. Não foram identificados sinais de fadigabilidade muscular nas contrações submáximas em nenhum dos grupos. **Conclusão:** caminhada em longas distâncias induziu maior redução do PT e RMS da CIVM de flexores de quadril em indivíduos com LMi do que indivíduos saudáveis, constatando maior fadigabilidade muscular.

Palavras-chave: Lesão Medular incompleta, caminhada, fadigabilidade muscular, flexores de quadril e função neuromuscular.

ABSTRACT

Introduction: Individuals with incomplete spinal cord injury (iSCI) have a high energy expenditure and high levels of perceived fatigability during walking, primarily over long distances. However, evidence on the occurrence of muscle fatigability after prolonged walking in individuals with iSCI is controversial. **Objective:** To assess the impact of prolonged walking on hip flexor muscle fatigability, in individuals with incomplete spinal cord injury (iSCI) compared to healthy individuals. **Method:** Maximal (MVIC) and submaximal voluntary isometric contractions (SIC) were applied before and after prolonged walking, in 24 persons with iSCI and 24 healthy individuals. Peak torque (PT), rate of force development (RFD), root mean square (RMS) and neuromuscular efficiency (NME) were used to assess muscle fatigability. **Results:** Individuals with iSCI showed greater decline in the PT and RMS of MVIC after walking. However, there was decrease in RFD only for healthy individuals. No signs of muscle fatigability were identified in the submaximal contractions of any of the groups. **Conclusion:** Long-distance walking induced greater decline in the PT and RMS of the MVIC of hip flexors in individuals with iSCI than in healthy subjects, demonstrating increased muscle fatigability.

Key-words: Incomplete spinal cord injury, walking, muscle fatigability, hip flexors and neuromuscular function.

1. INTRODUÇÃO

A fadiga é um conceito definida como “*sintoma incapacitante, no qual as funções físicas e psicológicas são limitadas pelas interações entre a fatigabilidade de desempenho e a percepção de fatigabilidade*” (1). A fadiga é frequente em indivíduos com lesão medular incompleta (LMi) (2,3). Indivíduos com LMi apresentam preservação parcial das vias motoras, sensitivas e autonômicas do sistema nervoso central, o que favorece a probabilidade de adquirir capacidade de marcha após a lesão (4). Entretanto, fatores como fraqueza muscular (5), espasticidade (6), déficit de equilíbrio (7), e da coordenação muscular (8), assimetrias da passada (9), impõem um elevado gasto energético durante a marcha (10,11), principalmente em longas distâncias (12). GOLLIE et al. (13) constataram que indivíduos com LMi apresentam maiores níveis de percepção de fatigabilidade comparado a indivíduos sem lesão, em atividades como a marcha.

A fatigabilidade muscular de membros inferiores pode contribuir para maior percepção de fatigabilidade e maior gasto energético durante a marcha em indivíduos com LMi. A fatigabilidade muscular é definida como redução de força induzida pelo exercício ou atividade, como resultado de alterações periféricas e do sistema nervoso central (14). Alterações como atrofia muscular, conversão do tipo de fibra, alterações no fluxo iônico transmembrana e redução do fluxo sanguíneo muscular, podem suscetibilizar indivíduos com LMi a uma maior fatigabilidade muscular, comparados a indivíduos sadios (15,16).

Indivíduos com LMi utilizam movimentos compensatórios durante a marcha, os quais provocam aumento da demanda muscular em membros inferiores (17). Dentre as compensações, destaca-se o aumento da demanda nos músculos flexores de quadril, os quais são fundamentais para a progressão do membro inferior à frente na fase de balanço (18,19). Essa compensação resulta da contribuição ineficiente dos plantiflexores, na fase de balanço, e pela espasticidade (5,20–22). Deste modo, a exposição prolongada à compensação dos músculos flexores de quadril durante a marcha pode gerar uma maior fatigabilidade muscular. Entretanto, sua ocorrência após período prolongado de caminhada em indivíduos com LMi ainda é controversa. Por exemplo, Hornby et al. (23) verificaram que indivíduos com LMi

apresentaram maior resistência muscular do que indivíduos saudáveis, após indução de fadiga por contrações voluntárias máximas (CVM). No entanto, em protocolos de indução da fadiga por CVM, a resistência muscular pode ser consequência da fraqueza muscular desses indivíduos. Em músculos fracos, há uma dificuldade em recrutar fibras de contração rápida e isso retarda a redução da força máxima em protocolos de CVM (24,25). Portanto, métodos experimentais de indução da fadiga podem não representar a fatigabilidade muscular durante uma atividade funcional como a marcha (26).

Indivíduos com LMi apresentam limitação para marcha em longas distâncias. As compensações podem ocasionar outros impactos, como a diminuição da capacidade de força e ativação muscular de flexores de quadril (27–30). Conseqüentemente, a fatigabilidade muscular de flexores de quadril pode ser um dos fatores limitantes para um bom desempenho de marcha. É de suma importância avaliar a função desse grupamento após um determinado período de caminhada, com o intuito de compreender os impactos da fatigabilidade e quais variáveis podem ser mais afetadas (e.g., grau de contratilidade muscular e força). Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar os impactos de um período prolongado de caminhada na fatigabilidade muscular de indivíduos com LMi, comparados a indivíduos controle e pareados. Traça-se a hipótese de que os músculos flexores de quadril de indivíduos com LMi apresentarão maiores índices de fatigabilidade muscular comparado ao grupo controle.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Caracterização da Lesão Medular

Lesão medular é caracterizada como um dano que acomete a medula espinhal (31) e pode ocasionar sequelas permanentes ou temporárias, com impactos a função motora, sensitiva e autonômica (32). As causas mais frequentes de lesão medular estão relacionadas a eventos traumáticos (33). Entretanto, eventos não-traumáticos, tais como doenças congênitas, disfunções degenerativas da coluna vertebral ou doenças inflamatórias e autoimune também podem causar lesão medular.

A Padronização Internacional para Classificação da Lesão Medular (do inglês, *International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury - ISNCSCI*), publicada pela Associação Americana de Lesão Medular (do inglês, *American Spinal Cord Association - ASIA*), é a ferramenta utilizada para quantificar o dano neurológico e classificar os indivíduos após uma lesão medular. Com esta ferramenta, é possível identificar o nível neurológico e gravidade da lesão medular, por meio da avaliação dos dermatômos e miótômos (34). De acordo com a gravidade da lesão, a lesão medular pode ser classificada como completa (sem contração voluntária ou sensibilidade abaixo do nível da lesão) ou incompleta (ter preservação parcial motora e/ou sensitiva abaixo do nível da lesão) (31).

A incidência mundial de lesão medular traumática é 10,5 casos por milhão de habitantes, resultando em uma estimativa de 768.473 novos casos de lesão medular anualmente em todo o mundo (35). No estudo de Kumar et. al (35), foi evidenciado maior número de lesão medular cervical, sendo acidentes de trânsito e quedas as maiores causas de lesão medular. No Brasil, há uma estimativa é de 21 casos por milhão de habitantes (36). No entanto, a maior causa de lesão medular em nosso país está relacionada a violência (ferimentos por arma de fogo) (36).

Há uma carência na documentação da incidência das lesões medulares não-traumáticas, pois sua etiologia tem múltiplos fatores. No entanto, estima-se uma maior incidência de lesões não-traumática, comparado a lesões traumáticas (37). Na Austrália, foi evidenciada por New e Sundararajan (38), uma incidência de 26,3 casos por milhão de habitantes de lesão medular não-traumática. As causas mais

comuns são discopatias degenerativas e estenose do canal vertebral, tumores e doenças inflamatórias (39,40).

Ao longo das últimas décadas, é possível identificar um aumento na incidência de lesões incompletas comparado a lesões completa, independente da causa (traumática ou não-traumática) (40–42). Nos Estados Unidos, a frequência de lesões traumáticas incompletas supera 67% dos casos (43). De acordo com Devivo (42), o aumento desta incidência está relacionado a etiologia da lesão medular, pois atualmente as maiores causas apresentam menor carga energética no trauma (e.g., quedas). Adicionalmente, os autores destacaram as melhorias nas modalidades de tratamento agudo da lesão medular, o que aumenta a probabilidade de recuperação neurológica. Já nas lesões não-traumáticas, New et al. (40) apresentaram uma estimativa de que 56% destes indivíduos, apresentam lesão motora incompleta.

2.2. Características funcionais de marcha em indivíduos com LMi

Recuperar a marcha é um dos principais objetivos de indivíduos que sofreram uma lesão medular (44). Cerca de 70% dos indivíduos que apresentaram classificação inicial como lesão incompleta, adquirem algum tipo de capacidade de marcha (4,45). No entanto, indivíduos com LMi apresentam redução da velocidade de marcha, assimetria da passada, maior gasto energético e maior risco de queda, quando comparados a indivíduos sadios (7,9,11,46). Esta redução do desempenho de marcha está relacionada aos danos neurológicos provocados pela lesão medular, tais como fraqueza muscular, déficit de equilíbrio e de coordenação muscular, espasticidade, redução da sensibilidade e propriocepção (6,17,47). Conseqüentemente, é esperado identificar redução na capacidade de marcha em indivíduos com LMi, principalmente em longas distância.

Gollie et al. (13) constataram que indivíduos com LMi apresentam níveis de percepção de fadigabilidade elevados após longo período de caminhada, enquanto indivíduos sadios não referem estar fatigados, mesmo caminhando um período de tempo maior. O aumento do gasto energético é considerado fator determinante para limitação da marcha em longas distâncias (12). Waters et al. (48) identificaram em um teste de caminhada de longa distância, um aumento no consumo de oxigênio de 240% em indivíduos com LMi, quando comparados a indivíduos sadios. A redução

da capacidade oxidativa muscular associada a redução do débito cardíaco após a lesão medular, prejudicam a homeostase metabólica durante a marcha e contribuem para o maior gasto energético em indivíduos com LMi (10). Adicionalmente, Lapointe et al. (12) identificaram após longo período de caminhada, níveis elevados de lactato em indivíduos com LMi, quando comparados a indivíduos saudáveis. Este achado identifica um aumento da demanda muscular nestes indivíduos, sendo este também um fator contribuinte para limitação do desempenho de marcha.

O princípio da “conservação da energia” durante a marcha envolve a forma de progressão do corpo através do espaço, com o menor gasto de energia mecânica e fisiológica (11). Para conservar energia cinética e fisiológica, o indivíduo utiliza movimentos harmônicos entre membros e tronco, visando manter um deslocamento simétrico e de baixa amplitude do centro de gravidade, da cabeça, braços e tronco nas direções vertical e lateral (11). Entretanto, indivíduos com LMi necessitam utilizar movimentos compensatórios durante a marcha, com intuito de reduzir os impactos provocados danos neurológicos presentes após a lesão medular (e.g., fraqueza muscular, déficit de equilíbrio e de coordenação muscular, espasticidade, redução da sensibilidade e propriocepção) e garantir a execução da marcha (17). Porém, estas compensações resultam em esforço e recrutamento muscular adicional a estes indivíduos, aumentando o gasto energético durante a marcha (49).

Dentre as compensações, destaca-se o aumento da demanda nos músculos flexores de quadril, os quais são fundamentais para a progressão do membro inferior à frente na fase de balanço (18,19). Esta compensação resulta da contribuição ineficiente dos plantiflexores em progredir o membro inferior à frente na fase de balanço (5,20). Adicionalmente, a ação antagonista provocada pela espasticidade e incoordenação muscular de membros inferiores, gera uma resistência adicional na fase de balanço, ao dificultar a transição harmônica entre a fase do apoio final para balanço inicial (21,22). Desta forma, ocorre um recrutamento adicional dos músculos flexores de quadril na fase de balanço nestes indivíduos (18). Este recrutamento muscular adicional realizado de forma cíclica e repetitiva durante a marcha, principalmente em longos períodos de caminhada, pode resultar em fadigabilidade muscular e limitar o desempenho da marcha (50).

2.3. Fatigabilidade muscular: conceitos e mecanismos

A fadiga é um conceito complexo e multifatorial. O termo “fadiga” é adotado em múltiplas definições, podendo ser relacionado tanto a redução de funções físicas quanto cognitivas. Além disso, o termo fadiga também abrange desde a redução do desempenho motor induzido pelo exercício até a percepção de cansaço e fraqueza identificadas em algumas condições clínicas. Conseqüentemente, a falta de consenso para definição e uso do termo em múltiplas ocasiões, pode levar a interpretações equivocadas para pessoas não familiarizadas com o tema, e limitar a compreensão adequada sobre cada aspecto que envolve o termo “fadiga” (51).

Desta forma, foi proposta por Enoka e Duchateau (1) uma taxonomia para unificar a terminologia, onde define fadiga como *“um sintoma incapacitante no qual as funções físicas e psicológicas são limitadas pelas interações entre a fatigabilidade de desempenho e a percepção de fatigabilidade”*. Fatigabilidade de desempenho, portanto, representa o declínio de uma medida objetiva, como por exemplo força muscular, resistência e velocidade, durante ou após uma determinada atividade. Por outro lado, a percepção de fatigabilidade representa a sensação de cansaço relatada por um indivíduo durante ou após uma atividade. Portanto, como fadiga é um sintoma, é sugerido quantificá-la apenas pelo auto relato do indivíduo (escalas de avaliação). Ainda, é desencorajado utilizar a palavra “fadiga” seguida de um adjetivo (por exemplo; central, mental, muscular). Nestes casos, o termo fatigabilidade é considerado mais adequado. Esta taxonomia tem sido adotada por pesquisadores em estudos recentes sobre o tema (13,52–54).

A fatigabilidade muscular é definida como redução da capacidade de produção de força e ativação muscular máxima, induzida pelo exercício ou atividade (14,55). A fatigabilidade muscular também pode ser considerada como falha em manter uma força muscular necessária ou esperada durante uma tarefa ou exercício (56). A etiologia da fatigabilidade muscular é controversa, múltiplos mecanismos fisiológicos podem estar envolvidos. Para melhor compreensão, podemos dividir em mecanismos centrais (sistema nervoso) e mecanismos periféricos (contratilidade muscular).

Mecanismos centrais estão relacionados a redução da ativação muscular (i.e., redução da taxa de disparo e número de unidades motoras recrutadas pelo

motoneurônio) (57). Dentre estes mecânicos, é possível citar a inibição aferente de receptores intramusculares. Bigland-Ritchie et al. (58) demonstraram que a taxa de disparo do motoneurônio pode ser inibida pelos aferentes musculares dos grupos III e IV (metaborreceptores), em resposta a variações metabólicas induzidas pela fadigabilidade no músculo, tais como isquemia, hipoxemia muscular e acúmulo de lactato (58). Outro mecanismo fisiológico relacionado a redução da ativação central, é a redução da responsividade do motoneurônio. No início de uma atividade fadigante, os motoneurônios disparam potências de ação repetidamente. No entanto, ao longo da atividade fadigante, alguns motoneurônios reduzem a frequência de disparo ou outros por vezes, cessam sua ativação (55).

A avaliação da ativação central é realizada por meio de uma estimulação elétrica evocada do nervo (estimulação elétrica percutânea) ou do córtex motor (estimulação elétrica transcraniana) (59). Em contrações voluntárias máximas (CVM) realizadas durante uma atividade fadigante, manter inalterada a força máxima evocada (resultante de uma estimulação elétrica), associada ao decréscimo da força voluntária máxima, representa uma redução da ativação central (60). Desta forma, fadigabilidade central pode ser definida como *“qualquer redução na força voluntária máxima que ocorre durante o exercício, que não é acompanhada por uma queda da força máxima evocada”* (61).

Por outro lado, fadigabilidade periférica está relacionada ao decréscimo da força contrátil muscular e alterações na transmissão dos potenciais de ação muscular durante uma atividade fadigante (61). Como exemplos de mecanismos fisiológicos relacionados a fadigabilidade periférica, pode ser citado o acúmulo de fosfatase inorgânica e hidrogênio intramuscular, que resulta na redução da contratilidade muscular devido a inibição da interação entre as pontes cruzadas de actina e miosina (acoplamento excitação-contração). Este acúmulo também resulta na inibição da reabsorção do cálcio pelo retículo sarcoplasmático, sendo este uma das principais causas do relaxamento muscular prolongado após uma atividade fadigante (59). Adicionalmente, o acúmulo de lactato e íons hidrogênio intracelular, a redução da velocidade de propagação do potencial de ação ao longo do sarcolema, também são exemplos de mecanismos fisiológicos envolvidos na fadigabilidade periférica (59,62).

2.4. Métodos de avaliação da fadigabilidade muscular

Métodos que avaliam a força muscular tem grande importância em estudos da função neuromuscular. A contração voluntária máxima (CVM) expressa a capacidade máxima de força muscular produzida por um determinado músculo ou grupamento muscular. Entretanto, a mensuração da capacidade de força apenas, não permite avaliação precisa da função neuromuscular. Portanto, frequentemente a eletromiografia de superfície (EMG) é utilizado simultaneamente para avaliar a ativação muscular durante atividades ou exercícios. A força muscular e amplitude EMG (*Root Mean Square* - RMS) são tradicionalmente utilizada para avaliação da fadigabilidade muscular (56).

Contrações voluntárias máximas são amplamente utilizadas para avaliação da fadigabilidade muscular (54). Após uma atividade fadigante, a redução da capacidade de força e ativação muscular máxima representam fadigabilidade muscular (14,55). Esta redução ocorre pela inabilidade do indivíduo em recrutar o máximo de unidades motoras e fibras musculares após uma atividade fadigante (55). Boudarham et al. (63) evidenciaram redução do pico de torque extensores de joelho e RMS dos músculos reto femoral e vasto medial, após protocolo de indução a fadigabilidade por CVM, em indivíduos com acidente vascular cerebral. Pela redução da força e ativação muscular máxima, os autores constataram fadigabilidade muscular. Por outro lado, também é possível identificar fadigabilidade muscular em contrações voluntárias submáximas, por meio da análise da amplitude EMG. O aumento da amplitude EMG (RMS) durante uma contração submáxima, constata fadigabilidade muscular (56). Este aumento é identificado pelo recrutamento adicional de unidades motoras ao longo da contração, que ocorre com objetivo de manter a contração pelo máximo de tempo possível (61).

2.5. Fadigabilidade muscular em indivíduos com LMI

Indivíduos com LMI apresentam alterações na integridade neuromuscular, tais como atrofia e fraqueza muscular, conversão do tipo de fibra, alterações no fluxo iônico transmembrana e redução do fluxo sanguíneo muscular abaixo do nível da lesão. Tais fatores podem tornar indivíduos com LMI mais susceptíveis a

fatigabilidade muscular, comparados a indivíduos saudáveis (15,16). No entanto, presença de maior fatigabilidade muscular em indivíduos com LMI, comparado a indivíduos saudáveis, ainda é controversa. Honrby et al. (23) submetem indivíduos com LMI a um protocolo de indução a fatigabilidade muscular por meio de CVM, e compararam o desempenho a indivíduos saudáveis. Diferente do esperado, indivíduos com LMI não apresentaram redução da capacidade de força e ativação muscular máxima após o protocolo de indução da fatigabilidade. Os autores concluíram que, indivíduos com LMI apresentaram maior resistência muscular comparados indivíduos saudáveis. Entretanto, em protocolos de indução a fatigabilidade por CVM, a maior resistência muscular pode estar relacionada a fraqueza muscular (25,47,64,65).

Indivíduos com LMI apresentam fraqueza muscular devido a lesão neurológica primária. A fraqueza muscular está associada a maior proporção de fibras musculares do tipo I (fibras de contração lenta), redução da área de secção transversa muscular e limitação do recrutamento muscular voluntário máximo (47,66,67). De acordo com a teoria do recrutamento muscular ordenado, unidades motoras menores (fibras Tipo I, menos fatigáveis) são recrutadas primeiro, seguida pelo recrutamento de unidades motoras maiores (fibras Tipo II, mais fatigáveis). Portanto, em protocolos de indução a fatigabilidade muscular por CVM, indivíduos com LMI podem apresentar maior resistência e fraqueza muscular, pela incapacidade de recrutar unidades motoras de limiar mais alto (fibras tipo II, mais fatigáveis) (25). A relação entre fraqueza muscular e resistência muscular em protocolos de indução a fatigabilidade muscular por CVM, também foi estabelecida em indivíduos com paralisia cerebral (68), acidente vascular cerebral (69) e esclerose múltipla (70). No entanto, é esperado maior fatigabilidade muscular em indivíduos com LMI durante a execução de atividades do cotidiano como a marcha.

Devido a fraqueza muscular e movimentos compensatórios executados durante a marcha, possivelmente indivíduos com LMI utilizam níveis elevados de força muscular de membros inferiores durante a marcha (54). Utilizar níveis de força muscular elevado de forma cíclica e repetida durante a marcha, principalmente em longos períodos de caminhada, pode gerar fatigabilidade muscular precoce nesta população, quando comparados a indivíduos saudáveis. Portanto, é possível que protocolos experimentais de indução a fatigabilidade muscular, não representem de forma fidedigna a fatigabilidade muscular experimentada durante a marcha de

indivíduos com LMI. Dobkin (26) destacou a dificuldade de reproduzir em protocolos experimentais de indução a fadiga muscular, situações reais do cotidiano (i.e., marcha) de indivíduos com lesão neurológica. Esta dificuldade foi relacionada aos múltiplos fatores dinâmicos que podem influenciar no aumento da fadiga muscular nestes indivíduos (fraqueza muscular, hipertonia, incoordenação muscular). O autor sugere como método adequado de indução a fadiga muscular, utilizar a própria atividade diária (i.e, marcha).

3. JUSTIFICATIVA

Devido ao aumento da incidência de lesões medulares incompletas nas últimas décadas (42), é relevante compreender os mecanismos relacionados ao desempenho e recuperação da marcha em indivíduos com LMi. Essa população apresenta níveis elevados de gasto energético durante a marcha (11), que resulta em limitação da capacidade de marcha principalmente para longas distâncias (13). A fadigabilidade muscular de flexores de quadril pode contribuir para esta limitação, entretanto, as evidências da sua ocorrência em indivíduos com LMi é controversa.

Indivíduos com LMi utilizam mecanismos compensatórios durante marcha, como o aumento da demanda muscular dos flexores de quadril para progredir o membro inferior à frente na fase de balanço (17,18). Dessa forma, a exposição a longos períodos de caminhada pode impactar em uma maior diminuição de força e ativação muscular deste grupo muscular, comparados a indivíduos saudáveis (27,29). Conseqüentemente, a fadigabilidade muscular de flexores de quadril pode ser um fator limitante para o bom desempenho de marcha. Portanto, identificar maior fadigabilidade muscular provocada por longos períodos de caminhada em indivíduos com LMi pode auxiliar no melhor delineamento e planejamento de atividades que compõem programas de reabilitação, além de nortear a prescrição de exercícios terapêuticos e prognóstico de marcha para esta população.

Com base no exposto, o presente estudo levanta a seguinte pergunta de pesquisa: a marcha em longas distâncias causa maior fadigabilidade muscular nos músculos flexores de quadril de indivíduos com LMi, comparados a indivíduos saudáveis?

4. OBJETIVOS:

4.1. Objetivo geral

- Avaliar o impacto de um período prolongado de caminhada na fatigabilidade muscular de indivíduos com lesão medular incompleta, comparados a indivíduos saudáveis e pareados.

4.2. Objetivos específicos

- Comparar a capacidade de produção de força máxima (pico de torque e taxa de desenvolvimento de força), antes e após teste de indução a fadiga (caminhada de 30 minutos ou até o relato de exaustão), entre indivíduos com lesão medular incompleta e controles pareados.
- Comparar o RMS proveniente das contrações máxima e submáxima, antes e após teste de indução a fadiga (caminhada de 30 minutos ou até o relato de exaustão), entre indivíduos com lesão medular incompleta e controles pareados.
- Comparar a eficiência neuromuscular proveniente das contrações máxima e submáxima, antes e após teste de indução a fadiga (caminhada de 30 minutos ou até o relato de exaustão), entre indivíduos com lesão medular incompleta e controles pareados.
- Comparar o desempenho de indivíduos com LMI e controle pareados, no teste de indução a fadiga.

5. MÉTODO

5.1. Tipo de Estudo

Trata-se de estudo transversal, composto por um grupo de indivíduos com lesão medular incompleta e grupo controle com sujeitos sem lesão e pareados por sexo, idade, índice de massa corporal (IMC) e nível de atividade física.

5.2. Participantes

Para o cálculo amostral foi utilizado o *software* G*Power, com significância de 5% (α), poder estatístico de 80% ($1-\beta = 0,8$) e tamanho do efeito moderado. O número de indivíduos necessários para cada grupo foi de 28 ($n=56$).

Vinte e quatro indivíduos com lesão medular incompleta foram recrutados por conveniência em um hospital e compuseram o Grupo Lesão Medular incompleta (GLMi; idade: $42,42 \pm 10,48$ anos, IMC: $25,09 \pm 3,98$ kg/m²; Tabela 1). Os critérios de inclusão para os indivíduos do GLMi foram: idade entre 18 e 60 anos, lesão medular traumática ou lesão medular não-traumática (com característica não progressiva), independente para caminhar com ou sem auxílio-locomoção, amplitudes de movimento articular em membros inferiores preservadas, \geq seis meses de lesão, classificação D segundo a *ASIA Impairment Scale* (AIS), nível neurológico abaixo do terceiro nível cervical (C3) e acima do décimo nível torácico (T10) e obter graduação de força muscular de flexores de quadril superior ou igual ao grau 3 (vencer resistência da gravidade) no membro inferior mais afetado pela lesão. Foram excluídos indivíduos que apresentavam outras lesões do sistema nervoso, que utilizavam órtese em membros inferiores ou apresentavam qualquer desordem metabólica, disfunção cardíaca e comorbidade ortopédica que impossibilitasse a realização dos testes.

Vinte e quatro indivíduos sem lesão neurológica (idade: $38,54 \pm 8,14$ anos, IMC: $26,19 \pm 2,97$ kg/m²; Tabela 1) foram incluídos no Grupo Controle (GC). Foram excluídos aqueles que apresentaram desordem metabólicas, disfunção cardíaca ou comorbidade ortopédica que impossibilite ser submetido aos testes. O pareamento

foi realizado por sexo, IMC, idade e nível de atividade física, mensurado pela quantidade de horas realizadas em esportes ou exercício físico (71) (ANEXO A).

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética Institucional (protocolo nº 82548018.3.0000.0022) e todos os voluntários assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

5.3. Medidas de função e Fadiga

A fadiga foi avaliada pela Escala de Severidade de Fadiga (72) (ANEXO B). No GLMi, a independência funcional foi avaliada pela *Spinal Cord Independence Measure* (SCIM-III) (73) (ANEXO C). A independência para marcha comunitária foi quantificada pelo subitem “Mobilidade fora de casa” da SCIM. Os participantes do GLMi que pontuaram entre 0-3 foram considerados inaptos para marcha comunitária, enquanto que os que pontuaram entre 4-8 apresentam independência para marcha comunitária (74). A pontuação de força muscular de membros inferiores foi quantificada através do escore da ASIA (do inglês, *lower-extremities motor score - LEMS*) (31). A Escala de Ashworth Modificada (ANEXO D) foi utilizada para avaliar a espasticidade dos membros inferiores (75). A avaliação da LEMS e a Escala de Ashworth Modificada foram aplicados por um fisioterapeuta com experiência em nestas avaliações.

5.4. Dinamômetro Isocinético

Para avaliar a fatigabilidade muscular de flexores de quadril foi utilizado um dinamômetro isocinético (Biodex System 4, Biodex Medical Systems, Shirley, New York, USA). A calibração foi feita de acordo com as especificações do fabricante. O participante foi posicionado na cadeira em supino, com inclinação de 15° em relação horizontal e o eixo de rotação do dinamômetro foi alinhado ao centro da articulação do quadril (trocânter maior). A coxa ipsilateral foi fixada a almofada de resistência do dinamômetro logo acima da fossa poplítea. Tronco e membro inferior contralateral foram fixados à cadeira do dinamômetro com faixas. O ângulo para realização das contrações isométricas foi de 0° (sendo 0° a extensão completa) (76). A correção da gravidade foi obtida medindo o torque exercido pela perna do participante (relaxada).

Os valores das variáveis foram automaticamente ajustados para a gravidade pelo programa *Biodex Advantage 4*. O membro inferior escolhido para avaliação no GLMi foi o membro mais afetado pela lesão e, no GC, o membro não-dominante.

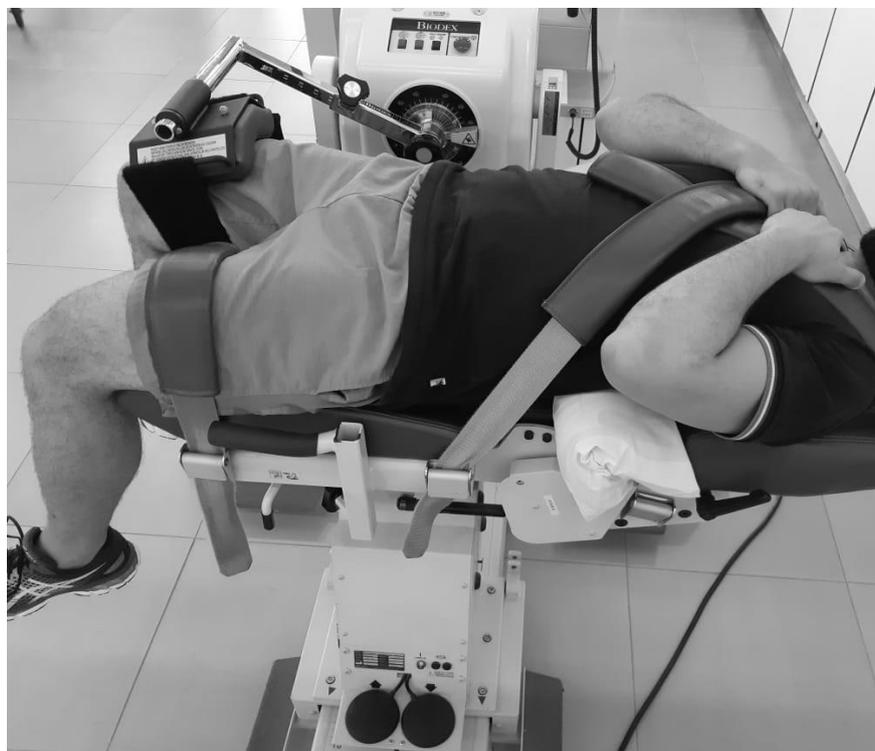


Figura 1. Ilustração do posicionamento no dinamômetro isocinético.

5.5. Eletromiografia de Superfície

Foi utilizado um eletromiógrafo portátil com sistema sem fio (Trigno Wireless, Delsys). O eletromiógrafo possui 10 canais, amplitude de entrada de ± 5 V, conversor analógico-digital de 16 bits de resolução, ruído basal $< 0,75$ uV e modo de rejeição comum > 80 db. Cada eletrodo possui 4 barras de prata na interface sensor-pele, com distância fixa de 10 mm e contornos para estabilidade máxima do sinal. Para o acoplamento dos eletrodos na pele, utilizou-se fitas adesivas hipoalergênicas e descartáveis. Antes da colocação dos eletrodos, a área foi tricotomizada, realizou-se leve abrasão e, em seguida, feita limpeza com álcool 70%. Os eletrodos foram acoplados nos músculos flexores de quadril para análise da ativação eletromiográfica (pré-teste e pós-teste). Os músculos escolhidos foram o reto

femoral (RF) e o iliopsoas (ILIO). O registro e processamento dos sinais foram baseados em recomendações internacionais (77). Os posicionamentos dos eletrodos foram realizados com base nas Diretrizes do Projeto SENIAM (*Surface Electromyography for the Non-invasive Assessment Muscle*) (78) e Criswell (79). O posicionamento do eletrodo no iliopsoas foi confirmado com a palpação manual (80). Embora o iliopsoas seja um músculo profundo, sua área superficial foi considerada adequada para captação da atividade eletromiográfica (81).

5.6. Procedimentos de Avaliação

Todos os participantes foram orientados a não realizar atividade física no mesmo dia dos testes. A avaliação da fadigabilidade muscular consistiu em dois momentos: antes do teste de indução da fadiga (pré-teste) e imediatamente após o seu término (pós-teste). O fluxograma do estudo está ilustrado na Figura 2. Antes do pré-teste, foi realizado um aquecimento (2 minutos de caminhada em uma velocidade auto selecionada). Ao final do pré-teste, houve um descanso de 10 minutos antes do início do teste de indução a fadiga. Imediatamente após o término do teste de indução à fadiga, todos realizaram o pós-teste. O intervalo entre o teste de indução a fadiga e início do pós-teste foi de 2 a 5 minutos.

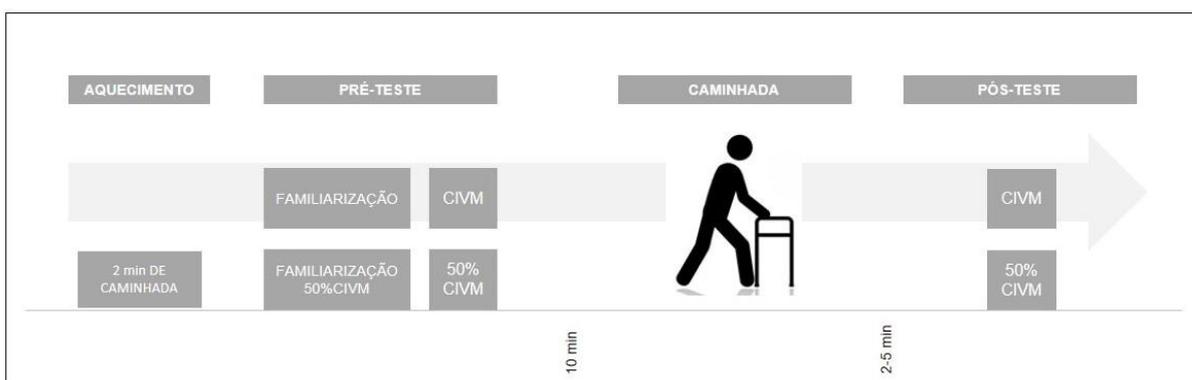


Figura 2: Fluxograma do protocolo experimental. CIVM: contração isométrica voluntária máxima; 50% CIVM: contração submáxima

5.7. Teste de Indução a Fadiga

A indução à fadiga foi caracterizada por teste de caminhada em uma linha reta de 20 m, delimitada por dois cones, e duração máxima de 30 minutos (13). Os indivíduos do GLMi realizaram o teste com seu auxílio-locomção habitual, caso houvesse, e a velocidade foi auto selecionada. O teste foi finalizado caso o tempo máximo fosse atingido, ou caso os participantes relatassem exaustão (definida pela pontuação 17 na Escala de Borg) (82). A percepção de esforço foi monitorada a cada 2 minutos, durante todo período da caminhada (83) (ANEXO E). Os indivíduos que solicitaram a interrupção por qualquer motivo diferente dos critérios estipulados anteriormente, foram excluídos do estudo. Dados referentes ao desempenho do participante na caminhada até exaustão (distância percorrida, tempo de caminhada e velocidade média) foram registrados. Ao final da caminhada, foi questionado ao participante se a fadiga foi mais perceptível considerando-se os músculos dos membros inferiores ou sistema cardiorrespiratório.

Os indivíduos do GC realizaram o teste seguindo as mesmas instruções apresentadas para o GLMi.

5.8. Avaliação da Fatigabilidade Muscular

Inicialmente, os participantes realizaram 2 contrações isométricas submáximas de flexão de quadril para familiarização. Após 1 minuto de intervalo, foi realizado o teste de força máxima de flexão de quadril, composto por duas contrações isométricas voluntárias máximas (CIVM), com duração de 6 segundos e intervalo de 1 minuto entre cada. Durante a CIVM, adotou-se encorajamento verbal (realizar força “o mais rápido e mais forte possível”) e *feedback* visual do pico de torque (PT) pelo monitor do dinamômetro. A repetição com maior valor do PT foi utilizada na análise dos dados.

Após o teste máximo, foi realizado o teste submáximo (contrações isométricas submáximas a 50% do PT). Os participantes foram orientados a atingir o torque estipulado (50% da CIVM) e manter a contração nesse nível. Inicialmente foi realizada a familiarização, composta por duas séries de contrações submáximas. Após a familiarização, realizou-se o teste submáximo, composto por duas séries de

contrações isométricas à 50% do PT de 6 segundos, com intervalo de 1 minuto entre cada. A repetição com melhor estabilidade do sinal de força em torno do torque estipulado (50% do PT) foi utilizada para análise.

5.9. Processamento dos Sinais

Os dados isocinéticos e eletromiográficos foram coletados em todas as repetições do protocolo de fatigabilidade muscular, de forma sincronizada na base do tempo, por meio do software EMGworks *Acquisition*[®]. O sinal do isocinético teve amostragem de 150 Hz e foi suavizado com filtro *butterworth* de 4ª ordem, passa-baixa com frequência de corte de 5 Hz. A taxa de amostragem do sinal eletromiográfico foi de 2000 Hz. O sinal do EMG foi filtrado por *butterworth* de 4ª ordem, com passa-banda entre 20 e 450 Hz. Para avaliação da fatigabilidade muscular, as seguintes variáveis foram utilizadas na CIVM: pico de torque (PT) normalizado pelo peso corporal (expresso em Nm/kg), Taxa de Desenvolvimento de Força (TDF), *Root Mean Square* (RMS) e Eficiência Neuromuscular (ENM) dos músculos ILIO e RF. Para análise da contração submáxima (50% CIVM), foram calculados o RMS e ENM dos músculos RF e ILIO. A normalização do RMS foi estabelecida pelo sinal eletromiográfico resultante de uma janela de 300 ms em torno do PT (RMS_{max}, em mV) e apresentado como percentual de RMS_{max}.

A TDF foi derivada na inclinação da curva momento-tempo (Δ momento/ Δ tempo) do sinal de torque, nos intervalos de 0-30 ms, 0-50 ms, 0-100 ms e 0-200 ms, durante a fase inicial da contração muscular. O início da contração foi definido como o instante em que o torque excedeu a linha de base em 2,5% do PT (84). Para calcular o RMS do ILIO e RF nas contrações máximas e submáximas (RMS_{CIVM} e RMS_{50%}), foram utilizadas janelas de 3 e 2 segundos centrais da contração, respectivamente (Figura 3). O RMS_{CIVM} e RMS_{50%} foi expresso em percentual do RMS normalizado (RMS_{max}). Na contração submáxima, o valor médio de torque obtido do janelamento (2 segundos centrais da contração) foi registrado.

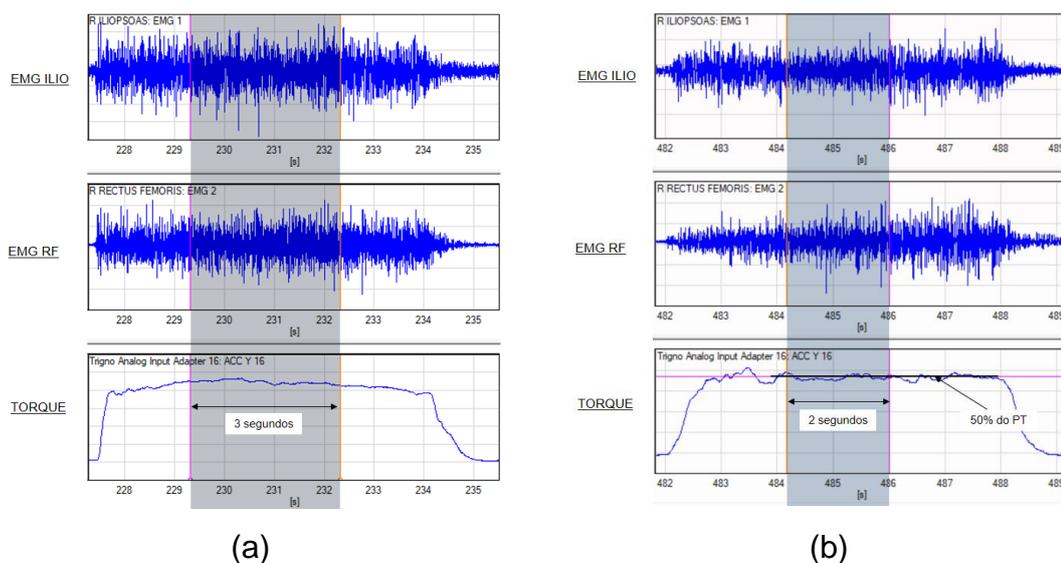


Figura 3. Representação do janelamento utilizado para o cálculo do *Root Mean Square* (RMS). (a) Contração isométrica voluntária máxima. (b) Contração isométrica voluntária submáxima. EMG ILIO: sinal eletromiográfico do músculo iliopsoas; EMG RF: sinal eletromiográfico do músculo reto femoral; PT: pico de torque.

O cálculo da ENM dos músculos ILIO e RF foi realizado por meio da seguinte equação:

$$\text{Contração voluntária máxima: } ENM_{CIVM} = PT/RMS_{\max}$$

$$\text{Contração voluntária submáxima: } ENM_{50\%} = \text{Torque médio}/RMS_{50\%}$$

Onde:

PT e torque médio foram expressos em N.m;

RMS_{\max} e $RMS_{50\%}$ foram expressos em milivolts.

5.10. Análise Estatística

Os pressupostos de normalidade foram verificados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Para as variáveis idade, IMC, ESF, SCIM, PT, TDF (0-30ms, 0-50ms, 0-100ms e 0-200ms), RMS do ILIO e RF (RMS_{CIVM} e $RMS_{50\%}$), os pressupostos foram

atendidos e os dados são apresentados em média (desvio-padrão). O nível de atividade física, tempo de lesão, LEMS, variáveis do teste de indução a fadiga (distância percorrida, tempo de duração e velocidade média) e ENM do ILIO e RF (ENM_{CIVM} e ENM_{50%}) foram apresentadas em mediana e quartis (25%; 75%). Os dados da Escala de Ashworth Modificada, topografia, independência para marcha comunitária, etiologia e auxílio-locomoção foram expressos descritivamente (frequência de ocorrência).

Para comparar a idade, IMC e ESF entre os grupos GLMi e GC, utilizou-se o teste-T de Student independente. As variáveis Escala de Atividade Física, distância percorrida, tempo de duração e velocidade média foram comparadas utilizando-se o teste U de Mann-Whitney. Para as comparações entre os grupos e momentos (pré-teste e pós-teste), adotou-se a análise de variância (ANOVA 2x2) com medidas repetidas, para comparar o PT, TDF, RMS de ILIO e RF (RMS_{CIVM} e 50%), com *post hoc* de Bonferroni. Eta Squared parcial (η_p^2) foi calculado para determinar o tamanho do efeito, classificado como pequeno ($\geq 0,0099$ e $< 0,0588$), médio ($\geq 0,0588$ e $< 0,1379$) e grande ($\geq 0,1379$) (85).

O teste de Mann-Whitney comparou a ENM de ILIO e RF (ENM_{CIVM} e ENM_{50%}) entre o GLMi e GC nos momentos pré e pós-teste (*between-groups*). A análise intra-grupos (*within-moments*, pré- vs pós-teste) foi realizada por meio do teste de Wilcoxon. O tamanho do efeito dos dados não-paramétricos baseou-se nos valores “Z-escore” do teste de Wilcoxon e foram convertidos para um tamanho de efeito estimado (r), usando a fórmula:

$$r = \frac{z}{\sqrt{N}}$$

Onde:

Z= Z-escore,

N= número total de observações.

Todas as análises foram realizadas no programa SPSS (versão 25), e a significância adotada foi de 5% ($p \leq 0.05$).

6. RESULTADOS

6.1. Participantes

Cinquenta e três participantes foram incluídos para avaliação do estudo (29 participantes do GLMi e 24 do GC). Entretanto, devido à presença de eventos adversos relatados durante a execução do protocolo de avaliação, 5 participantes do GLMi foram excluídos da análise (1 participante apresentou mal-estar devido a hipotensão, 1 apresentou urgência miccional, 1 forte espasticidade que impossibilitou o posicionamento no pós-teste e 2 apresentaram quadro de dor lombar e solicitaram interromper a caminhada). Portanto, foram incluídos na análise 48 participantes (24 no GLMi e 24 no GC).

A caracterização dos participantes está na Tabela 1. Não houve diferença entre os grupos. Porém, verificamos um maior nível de fadiga para os indivíduos do GLMi comparado ao GC ($p < 0,001$).

Tabela 1. Características Demográficas dos participantes.

Variáveis		GLMi	GC
Idade (anos)^a		42,42 (±10,48)	38,54 (±8,14)
IMC (Kg/m²)^a		25,09 (±3,98)	26,19 (±2,97)
Gênero			
	Masculino (n)	22 (91,7%)	22 (91,7%)
	Feminino (n)	2 (8,3%)	2 (8,3%)
Escala de AF (pontos)^b		3,00 (1-4)	3,00 (2-3,75)
ESF^a		4,92 (±1,82)	3,32 (±1,38) *
Tempo de lesão (mês)^b		37,31 (14,85- 86,58)	na
LEMS (pontos)^b		46 (43-48)	na
SCIM^b		91 (77,25-96)	na
EAM (perna mais afetada/menos afetada)			
	0	2 (8,3%)/ 9(37,5%)	na
	1	4 (16,7%)/ 5 (20,8%)	na
	1+	7 (29,2%)/ 6 (25%)	na
	2	7 (29,2%)/ 2 (8,3%)	na
	3	3 (12,5%)/ 2 (8,3%)	na
	4	1 (4,2%)/ 0 (0%)	na
Topografia			
	Tetraplegia (n)	17 (70,8%)	na
	Paraplegia (n)	7 (29,2%)	na
Marcha Comunitária			
	Sim	17 (70,83%)	na
	Não	7 (29,17%)	na
Etiologia			
	Traumática	17 (70,83%)	na
	Não-traumática	7 (29,16%)	na
Auxílio-locomoção			
	Andador	5 (20,8%)	na
	2 bengalas de apoio braquial	2 (8,3%)	na
	1 bengala de apoio braquial	3 (12,5%)	na
	1 bengala em T	4 (16,7%)	na
	Nenhum	10 (41,7%)	na

^aDados apresentados por média (desvio-padrão), ^bDados apresentados por mediana e quartis (25% e 75%). Gênero, EAM, topografia, etiologia e auxílio-locomoção foram expressos em valores absolutos (frequência). * $p \leq 0,01$ em comparação entre os grupos. AF: Atividade Física; EAM: Escala de Ashworth Modificada; ESF: Escala de Severidade de Fadiga; IMC: índice de massa corpórea; LEMS: *Lower-extremity motor score*; na: não avaliado. SCIM: *Spinal Cord Independence Measure*.

6.2. Teste de Indução a Fadiga

Indivíduos do GLMi caminharam uma distância menor em comparação com GC ($p < 0,0001$). Entretanto, a percepção de esforço após a caminhada foi maior para o GLMi ($p < 0,0001$) (Tabela 2). A maioria dos indivíduos do GLMi (75%) referiram que a fadiga foi mais perceptível no membro inferior mais afetado pela lesão. Por outro lado, no GC a maioria dos indivíduos (66,7%) referiram maior percepção de fadiga no sistema cardiorrespiratório.

Tabela 2. Resultados do teste de caminhada para indução da fadiga. Dados apresentados em mediana e quartis (25% e 75%).

Variáveis	GLMi	GC	<i>p</i> -valor
Distância (m)	756,2 (312,6–1630)	2060 (1965–2160)	$p < 0,001$
Duração do teste (s)	1304 (805–1800)	1800 (1800–1800)	$p < 0,001$
Velocidade Média (m/s)	0,69 (0,36–1,03)	1,14 (1,09–1,28)	$p < 0,001$
TPE (pontos)	17 (16,25–17)	10 (8–12)	$p < 0,001$

TPE: taxa de percepção de esforço.

6.3. Avaliação da Fatigabilidade Muscular

6.3.1. Contração Isométrica Voluntária Máxima

Os dados referentes a análise da fatigabilidade muscular da CIVM estão descritos na Tabela 3. Verificamos que o GLMi apresentou um PT menor comparado ao GC, tanto no pré- quanto no pós-teste ($p < 0,001$). Adicionalmente, verificamos uma interação significativa entre grupos x momentos ($p < 0,05$). Foi identificada redução significativa do PT no pós-teste para ambos os grupos (GLMi: $p < 0,0001$ e

GC: $p < 0,05$). Entretanto, o tamanho do efeito foi maior no GLMi (η_p^2 : 0,464) do que no GC (η_p^2 : 0,149).

Na análise da TDF, identificamos diferença entre grupos nos janelamentos de 0-30ms, 0-50ms, 0-100ms e 0-200ms ($p < 0,0001$), porém, a interação entre grupos x momentos não foi significativa. A TDF foi maior no GC em todos os janelamentos, tanto no pré-teste quanto no pós-teste, comparado ao GLMi ($p < 0,0001$). No GC, houve redução significativa da TDF no pós-teste em 0-30ms ($p < 0,009$), 0-50ms ($p < 0,007$), 0-100ms ($p < 0,05$) e 0-200ms ($p < 0,05$). No entanto, não houve redução no GLMi em nenhum janelamento ($p > 0,05$).

Na análise do RMS_{CIVM} do ILIO, não encontramos diferença entre os grupos ($p = 0,659$) ou interação entre grupos x momentos ($p = 0,421$). Porém, verificou-se diminuição entre os momentos pré e pós-teste ($p < 0,01$), com maior tamanho de no GLMi (η_p^2 : 0,118) comparado ao GC (η_p^2 : 0,037). Da mesma forma, o RMS_{CIVM} do RF não apresentou diferença entre os grupos ($p = 0,263$) ou interação entre grupos x momentos ($p = 0,076$). Porém, verificou-se diminuição entre os momentos pré e pós-teste ($p < 0,001$), com maior tamanho de efeito no GLMi (η_p^2 : 0,259) do que no GC (η_p^2 : 0,045).

Não encontramos diferenças da ENM_{CIVM} do ILIO entre os momentos pré e pós-teste no GLMi ($p = 0,253$), porém, houve aumento significativo no GC ($p < 0,05$). O GLMi apresentou ENM_{CIVM} do ILIO maior no pré-teste ($p < 0,001$) e no pós-teste ($p = 0,035$), comparado ao GC. Na análise do ENM_{CIVM} do RF, não houve diferença significativa tanto no pós-teste para o GLMi ($p = 0,092$) quanto para o GC ($p = 0,081$). Adicionalmente, não houve diferença entre os valores de ENM_{CIVM} do RF entre os grupos no pré-teste ($p = 0,821$) e no pós-teste ($p = 0,902$).

Tabela 3. Variáveis das Contrações Voluntárias Máximas dos Flexores de quadril obtidas antes e após indução a fadiga pela marcha.

Variáveis		Pré-teste	Pós-teste	Tamanho do efeito
Pico de Torque (N.m/kg) ^a	GLMi	1,63 (±0,43)	1,45 (±0,45)**	0,464 ^c
	GC	2,67 (±0,31)‡	2,59 (±0,27)‡*	0,149 ^c
TDF				
0-30 (N.m/s) ^a	GLMi	291,03 (±211,27)	263,59 (±229,99)	0,07 ^c
	GC	878,99 (±356,68)‡	742,92 (±298,26)‡*	0,145 ^c
0-50 (N.m/s) ^a	GLMi	319,81 (±231,45)	288,54 (±249,57)	0,008 ^c
	GC	965,99 (±384,49)‡	817,15 (±324,68)‡*	0,152 ^c
0-100 (N.m/s) ^a	GLMi	346,03 (±236,71)	309,28 (±251,71)	0,013 ^c
	GC	1013,46 (±384,49)‡	864,50 (±317,58)‡*	0,175 ^c
0-200 (N.m/s) ^a	GLMi	294,15 (±156,80)	257,98 (±169,81)	0,048 ^c
	GC	745,25 (±212,98)‡	665,30 (±168,20)‡*	0,198 ^c
RMS _{CIVM} ILIO (%RMS _{max}) ^a	GLMi	92,7 (±16,35)	82,64 (±18,82)*	0,118 ^c
	GC	88,15 (±20,59)	83,25 (±21,74)	0,037 ^c
RMS _{CIVM} RF (%RMS _{max}) ^a	GLMi	90,13 (±12,59)	71,82 (±19,62)**	0,259 ^c
	GC	89,28 (±17,26)	82,72 (±23,71)	0,045 ^c
ENM _{CIVM} ILIO (N.m/mV) ^b	GLMi	5,03 (3,64-6,99)	4,46 (1,81-3,58)	0,233 ^d
	GC	2,74 (1,89-6,27)‡	3,17 (2,04-4,98)*†	0,467 ^d
ENM _{CIVM} RF (N.m/mV) ^b	GLMi	3,08 (3,1-8,46)	3,32 (1,92-4,5)	0,334 ^d
	GC	3,45 (2,15-6,1)	3,23 (2,43-5,73)	0,355 ^d

a: Dados apresentados por média (desvio-padrão). b: Dados apresentados por mediana e quartis (25%-75%). c: Eta Squared parcial. d: tamanho do efeito estimado (r). †: $p < 0,05$ entre os grupos; ‡: $p < 0,001$ entre os grupos; *: $p < 0,05$ entre pré-teste e pós-teste; **: $p < 0,001$ entre pré-teste e pós-teste. CIVM: contração isométrica voluntária máxima. ENM_{CIVM}: eficiência neuromuscular da contração isométrica voluntária máxima; GC: Grupo Controle; GLMi: Grupo Lesão Medular incompleta; ILIO: Iliopsoas; N.m/kg: Newton metro por kilograma RMS: Root Mean Square. TDF: Taxa de Desenvolvimento de Força.

6.3.2. Contração Isométrica Submáxima

O torque médio executado na contração submáxima à 50% do PT pelo GLMi foi $0,8246 \pm 0,2102$ Nm/kg no pré-teste e $0,8237 \pm 0,2147$ Nm/kg no pós-teste. No GC, o torque médio da contração submáxima à 50% do PT foi $1,3077 \pm 0,16734$ Nm/kg no pré-teste e $1,3185 \pm 0,1671$ Nm/kg no pós-teste.

Os dados referentes à contração submáxima estão descritos na Tabela 4. O GC apresentou $RMS_{50\%}$ do ILIO menor no pós-teste, comparado ao GLMi ($p < 0,0001$). Adicionalmente, verificou-se interação entre grupos x momentos ($p < 0,05$). Houve redução do $RMS_{50\%}$ do ILIO no pós-teste no GC ($p < 0,05$), sem diferença no GLMi ($p = 0,316$). Na análise do $RMS_{50\%}$ do RF, não houve diferença entre os grupos ($p = 0,83$) ou interação entre grupos x momentos ($p = 0,92$), porém, houve diminuição entre os momentos pré e pós-teste ($p < 0,05$).

Na análise da $ENM_{50\%}$ do ILIO, houve diferença entre os grupos apenas no pré-teste ($p < 0,05$). Foi identificado aumento da $ENM_{50\%}$ do ILIO no pós-teste para o GC ($p < 0,05$), sem diferença no GLMi ($p = 0,53$). Na análise da $ENM_{50\%}$ do RF, não foi identificada diferença entre os grupos no pré- ($p = 0,564$) ou pós-teste ($p = 0,24$). Não foi identificada também diferença no pós-teste nem no GLMi ($p = 0,278$), nem no GC ($p = 0,072$).

TABELA 4. Variáveis das Contrações Voluntárias Submáximas dos Flexores de quadril obtidas antes e após indução a fadiga pela marcha.

Variáveis		Pré-teste	Pós-teste	Tamanho do efeito
RMS _{50%} ILIO (%RMS _{max}) ^a	GLMi	44,52 (±10,74)	46,01 (±9,34)	0,022 ^c
	GC	39,50 (±12,76)	34,91 (±10,75)†**	0,176 ^c
RMS _{50%} RF (%RMS _{max}) ^a	GLMi	41,85 (±13,31)	38,44 (±13,15)	0,064 ^c
	GC	36,25 (±8,4)	33,12 (±10,14)	0,054 ^c
ENM _{50%} ILIO (N.m/mV) ^b	GLMi	6,76 (4,04-7,89)	6,24 (3,74-8,18)	0,128 ^d
	GC	3,28 (2,59-4,99)†	4,32 (3,06-6)*	0,629 ^d
ENM _{50%} RF (N.m/mV) ^b	GLMi	3,03 (2,59-7,27)	3,40 (2,63-8,74)	0,221 ^d
	GC	4,54 (2,63-6,96)	5,46 (3,37-6,95)	0,376 ^d

a. Dados apresentados por média (desvio-padrão). b. Dados apresentados por mediana e quartis (25%-75%). c. Eta Squared parcial. d. tamanho do efeito estimado (r). †: $p < 0,05$ entre os grupos; * $p < 0,05$ entre pré-teste e pós-teste; ** $p < 0,001$ entre pré-teste e pós-teste. CIVM: contração isométrica voluntária máxima. ENM_{50%}: eficiência neuromuscular da contração isométrica voluntária submáxima; GC: Grupo Controle; GLMi: Grupo Lesão Medular incompleta; ILIO: Iliopsoas; N.m: Newton metro; RMS: Root Mean Square. TDF: Taxa de Desenvolvimento de Força.

7. DISCUSSÃO

O objetivo foi avaliar o impacto de um período prolongado de caminhada na fadigabilidade muscular de flexores do quadril em indivíduos com LMi, comparados a controles pareados. Houve redução significativa do PT e do recrutamento muscular em ambos os grupos, porém, o decréscimo foi maior no GLMi. Diferente do esperado, houve redução significativa da TDF apenas nos indivíduos do GC. Verificamos a ocorrência de fadigabilidade muscular na CIVM, entretanto, o mesmo não ocorreu na contração submáxima, em ambos os grupos.

Verificamos redução de grande magnitude do PT após a caminhada nos indivíduos com LMi e indivíduos saudáveis, o que comprovou a ocorrência de fadigabilidade muscular (14). Entretanto, a redução do PT foi maior no GLMi comparado ao GC (η_p^2 : 0,464 versus η_p^2 : 0,149, respectivamente). Estudos prévios demonstraram que indivíduos com paralisia cerebral e esclerose múltipla também apresentaram maior redução do PT quando comparados a indivíduos saudáveis, após períodos prolongados de caminhada (28,29). Os autores destacaram que a fraqueza muscular gera um esforço adicional durante a caminhada, e pode explicar a redução do PT (29,65). Adicionalmente, a fraqueza está relacionada com redução da área de secção transversa, conversão do tipo de fibra e redução da capacidade oxidativa (15). Tais fatores também contribuem para a fadigabilidade muscular em atividades como a marcha. Em nosso estudo, indivíduos com LMi apresentaram menor PT comparado ao GC, portanto, esse aspecto, associado às compensações, pode explicar a maior redução do PT no GLMi. A TDF é a habilidade do sistema neuromuscular em aumentar a força contrátil a partir do repouso, em uma ativação muscular realizada o mais rápido possível(86). A redução da TDF após uma atividade fatigante também é considerada um indicador de fadigabilidade induzida pelo exercício (87). Diferente do esperado, indivíduos com LMi não apresentaram redução da TDF. Entretanto, indivíduos com LMi apresentaram uma TDF aproximadamente três vezes menor comparado ao GC. O déficit de ativação muscular voluntária em indivíduos com LMi relaciona-se à lesão das vias neurais, o qual causa reduções da TDF (47). Portanto, nossos achados podem ser explicados pelo fato de que a TDF já se encontrava reduzida no pré-teste, e manteve-se nos mesmos patamares no pós-teste. Pelo nosso conhecimento, este foi o primeiro

estudo que utilizou a TDF como medida de fatigabilidade muscular em indivíduos com LMi, o que limitou a comparação com a literatura. Porém, estudo prévio demonstrou que indivíduos com Parkinson também não apresentaram redução da TDF após uma atividade fatigante, e não foi suficiente para verificar a fatigabilidade muscular (88). Portanto, é possível supor que a TDF não foi um marcador sensível de fatigabilidade muscular em indivíduos com LMi, devido ao déficit identificado antes mesmo da indução à fadiga.

Encontramos uma redução do RMS_{CIVM} após a indução da fadiga, em ambos os grupos. Entretanto, a redução do RMS_{CIVM} foi maior em indivíduos com LMi (tamanho do efeito médio para ILIO e grande para o RF) comparado a indivíduos saudáveis (efeito pequeno para ILIO e RF). Possivelmente, os indivíduos com LMi recrutaram um maior número de unidades motoras devido aos movimentos compensatórios de flexão de quadril durante a marcha, e isso resultou em uma maior fatigabilidade (55,89). Fatores centrais como a falha do sistema nervoso central em manter a taxa de disparo do motoneurônio, e periféricos, como a redução da capacidade contrátil muscular, estão relacionados com a redução do recrutamento muscular em condições de fatigabilidade (61). A análise da ENM auxilia na identificação de fatigabilidade periférica, pois a redução da ENM após uma atividade fatigante, indica ocorrência de fatigabilidade periférica ao invés de fatigabilidade central (63,90). Em nosso estudo, não identificamos reduções da ENM_{CIVM} do ILIO e RF, em nenhum grupo. Portanto, é possível supor que fatores periféricos não influenciaram na ocorrência de fatigabilidade muscular induzida pela marcha. Em atividades submáximas fatigantes como a marcha, fatores centrais contribuem, predominantemente, para a redução da ativação muscular (55). Adicionalmente, a redução da ativação central tem maior contribuição do que fatores relacionados à contratilidade muscular em indivíduos com LMi (91). Porém, como não mensuramos a fatigabilidade central, sugere-se que futuros estudos investiguem seus impactos em indivíduos com lesão medular incompleta, por medidas de ativação central evocada (cortical ou nervosa) durante o mesmo protocolo de avaliação que adotamos.

A marcha é composta por contrações submáximas realizadas de forma cíclica e repetida. Por este motivo, alguns autores utilizam contrações submáximas quando

o objetivo é relacionar a fatigabilidade muscular com o desempenho da marcha (68,92–94). Nossos achados demonstraram que a contração submáxima reduziu significativamente a $RMS_{50\%}$ do ILIO no GC. Isso comprovou que indivíduos sadios recrutaram um menor número de fibras muscular do ILIO após a indução da fadiga. Por outro lado, houve um aumento de pequena magnitude da ativação muscular do ILIO no GLMi. Entretanto, este incremento não foi significativo e, portanto, não pode ser caracterizado como fatigabilidade muscular. Em nosso estudo, o torque estabelecido na contração submáxima foi 50% do PT. Não há consenso quanto ao melhor percentual da CVM a ser adotado na contração submáxima para avaliar fatigabilidade muscular. Porém, devido à fraqueza muscular, é possível que indivíduos com LMi tenham utilizado níveis próximos à força máxima durante o teste de caminhada (54). Assim, o percentual de 50% do PT pode ter subestimado a força utilizada durante a marcha, o que indica que percentuais maiores seriam mais precisos para identificar a fatigabilidade muscular.

A análise da força e ativação muscular máxima demonstrou a ocorrência de maior fatigabilidade de flexores de quadril em indivíduos com LMi, comparados a indivíduos sadios. Tais achados confirmam a hipótese do nosso estudo. Além disso, identificamos que indivíduos com LMi caminharam menos da metade da distância quando comparado a indivíduos sadios e relataram maior percepção de esforço no teste de indução da fadiga. A fatigabilidade muscular de flexores de quadril em indivíduos com lesão neurológica diminui o movimento de flexão do quadril, afeta o equilíbrio e reduz a velocidade da marcha (27,29,50). Ainda, esses fatores estão relacionados com aumentos do gasto energético. Portanto, a fatigabilidade muscular de flexores de quadril pode ter contribuído para o aumento de percepção de esforço e interrupção precoce da caminhada no GLMi. Por outro lado, foram identificados sinais de fatigabilidade muscular nos indivíduos do GC (queda do PT e da ativação muscular). Vale salientar que os indivíduos do GC caminharam mais tempo que o GLMi, e nenhum deles referiu exaustão. Portanto, a fatigabilidade muscular não provocou exaustão ou sequer limitou a distância percorrida pelos indivíduos do GC. O maior tempo de caminhada pode estar relacionado a fatigabilidade muscular identificada no GC. Dessa forma, a fatigabilidade muscular de flexores de quadril teve impacto no desempenho de marcha de indivíduos com LMi, mas não interferiu o desempenho do GC. A fadiga no cotidiano, mensurada pela Escala de Severidade

de Fadiga, foi maior nos indivíduos com LMi comparados ao GC. Indivíduos com LMi apresentaram níveis elevados de fadiga e isso impacta negativamente no desempenho funcional e qualidade de vida (2,3). A execução de movimentos ineficientes durante a marcha é sugerida como fator relevante para maior fadiga em indivíduos com LMi (95). Portanto, a fatigabilidade muscular de flexores de quadril também pode ter contribuído para a maior fadiga no GLMi.

Como conclusão, verificamos que a marcha induziu maior fatigabilidade muscular em indivíduos com LMi, quando comparados a indivíduos saudáveis.

8. IMPLICAÇÕES CLÍNICAS

Os resultados deste estudo demonstraram que a fadigabilidade muscular durante a marcha é maior em indivíduos com LMi, comparados a indivíduos saudáveis. A fadigabilidade muscular aumenta o gasto energético, limita a capacidade de marcha e está associada com redução do equilíbrio durante a marcha (27,29). Indivíduos com LMi apresentam aumento do gasto energético e limitação para marcha em longas distâncias (11,74). Adicionalmente, estes indivíduos apresentam redução do equilíbrio dinâmico e risco de quedas elevado (7,96). Portanto, é importante considerar a maior susceptibilidade a fadigabilidade muscular no planejamento da reabilitação, monitoramento de exercícios físicos e nas atividades do cotidiano de indivíduos com LMi, visando não expor esta população a altos níveis de esforço físico e, possivelmente, a um maior risco de queda, principalmente após longos períodos de caminhada.

Diversas intervenções têm sido propostas com o intuito de recuperar a capacidade de marcha em indivíduos com LMi. Entretanto, os resultados ainda são limitados para melhora do desempenho de marcha, principalmente para aumento do potencial de marcha. Adicionalmente, não há um conceito sobre quais técnicas terapêuticas têm maior efeito na melhora do desempenho de marcha (97–99). Portanto, identificar potenciais barreiras para marcha em indivíduos com LMi é de extrema importância, pois auxiliará no direcionamento de abordagens terapêuticas com este objetivo. Nossos resultados demonstraram que a fadigabilidade muscular de flexores de quadril em indivíduos com LMi contribuiu para o aumento da percepção de esforço e interrupção precoce da marcha. Com base neste resultado, intervenções terapêuticas com foco em minimizar a demanda muscular de flexores de quadril durante a marcha, podem potencializar a capacidade de marcha destes indivíduos. Adicionalmente, a fraqueza muscular está relacionada a fadigabilidade muscular durante a marcha (65), portanto técnicas terapêuticas com foco na melhora da força muscular de membros inferiores, podem minimizar o gasto energético durante a marcha nestes indivíduos.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou, que indivíduos com LMi apresentaram maior redução do pico de torque e da ativação muscular dos músculos flexores de quadril após longo período de caminhada, quando comparados a indivíduos sem lesão. Este resultado confirmou a presença de maior fatigabilidade muscular em indivíduos com LMi.

Diferente do esperado, a TDF não foi identificada como marcador sensível de fatigabilidade muscular em indivíduos com LMi. Sugere-se futuros estudos para investigar os efeitos da fadiga na fase inicial da contração muscular em indivíduos com LMi. Adicionalmente, não foram constatados sinais de fatigabilidade muscular nas contrações submáximas, em nenhum dos grupos.

Como limitação do estudo, a amostra pode ter influenciado no resultado, pois setenta por cento dos participantes com LMi possuíam independência para marcha comunitária. Foi necessário estabelecer um critério de inclusão para força muscular dos flexores de quadril superior ou igual ao grau 3 no membro inferior mais afetado pela lesão, para a avaliação no dinamômetro isocinético. Deste modo, é possível que indivíduos com maior comprometimento da marcha (independência apenas para marcha domiciliar ou médias distâncias) apresentariam maior fatigabilidade muscular.

Por fim, espera-se que os resultados desta pesquisa auxiliem a prática clínica, no planejamento de atividades terapêuticas dentro de um programa de reabilitação e no cotidiano destes pacientes, além de nortear a prescrição de exercícios e técnicas terapêuticas e auxiliar no prognóstico de marcha para esta população.

10.REFERÊNCIAS

1. Enoka RM, Duchateau J. Translating Fatigue to Human Performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(11):2228–38.
2. Hammell KW, Miller WC, Forwell SJ, Forman BE, Jacobsen B a. Fatigue and spinal cord injury: a qualitative analysis. *Spinal Cord.* 2009;47(1):44–9.
3. Nooijen CFJ, Vogels S, Bongers-janssen HMM, Bergen MP, Stam HJ, Bergemons HJG Van Den. Fatigue in persons with subacute spinal cord injury who are dependent on a manual wheelchair. *Spinal Cord.* 2015;53(10):758–62.
4. Crozier KS, Graziani V, Ditunno JF, Herbison GJ. Spinal cord injury: prognosis for ambulation based on sensory examination in patients who are initially motor complete. *Arch Phys Med Rehabil.* 1991;72(2):119–21.
5. DiPiro ND, Holthaus KD, Morgan PJ, Embry AE, Perry LA, Bowden MG, et al. Lower Extremity Strength Is Correlated with Walking Function After Incomplete SCI. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* 2015;21(2):133–9.
6. Scivoletto G, Romanelli A, Mariotti A, Marinucci D, Tamburella F, Mammone A, et al. Clinical factors that affect walking level and performance in chronic spinal cord lesion patients. *Spine.* 2008;33(3):259–64.
7. Brotherton SS, Krause JS, Nietert PJ. Falls in individuals with incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2007;45(1):37–40.
8. Hayes HB, Chvatal SA, French MA, Ting LH, Trumbower RD. Neuromuscular constraints on muscle coordination during overground walking in persons with chronic incomplete spinal cord injury. *Clin Neurophysiol.* 2014;125(10):2024–2035.
9. Pérez-Nombela S, Barroso F, Torricelli D, de los Reyes-Guzmán A, del-Ama AJ, Gómez-Soriano J, et al. Modular control of gait after incomplete spinal cord injury: differences between sides. *Spinal Cord.* 2017;55(1):79–86.
10. Gollie JM. Fatigability during volitional walking in incomplete spinal cord injury : cardiorespiratory and motor performance considerations. *Neural Regen Res.* 2018;13(5):786–90.
11. Waters RL, Mulroy S. The energy expenditure of normal and pathologic gait. *Gait Posture.* 1999;9(3):207–31.
12. Lapointe R, Lajoie Y, Serresse O, Barbeau H. Functional community ambulation requirements in incomplete spinal cord injured subjects. *Spinal Cord.* 2001;39:327–35.
13. Gollie JM, Herrick JE, Keyser RE, Chin LMK, Collins JP, Shields RK, et al. Fatigability, oxygen uptake kinetics and muscle deoxygenation in incomplete spinal cord injury during treadmill walking. *Eur J Appl Physiol.* 2017;117(10):1989-2000.
14. Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev.* 2001;81(4):1725–89..nih.gov/pubmed/11581501
15. Biering-Sørensen B, Kristensen B, Kjaer M, Biering-Sørensen F. Muscle after

- spinal cord injury. *Muscle and Nerve*. 2009;40(October):499–519.
16. Papaioordanidou M, Varray A, Fattal C, Guiraud D. Neural and muscular mechanisms of electrically induced fatigue in patients with spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2014;52(3):246–50.
 17. Barbeau H, Nadeau S, Garneau C. Physical Determinants, Emerging Concepts, and Training Approaches in Gait of Individuals with Spinal Cord Injury. *J Neurotrauma*. 2006;23(3):571–85.
 18. Moon J, Yu J, Choi J, Kim M, Min K. Degree of Contribution of Motor and Sensory Scores to Predict Gait Ability in Patients With Incomplete Spinal Cord Injury. *Ann Rehabil Med*. 2017;41(6):969–78.
 19. Kim CM, Eng JJ, Whittaker MW. Level walking and ambulatory capacity in persons with incomplete spinal cord injury: relationship with muscle strength. *Spinal Cord*. 2004;42(3):156–62.
 20. Peters DM, Thibaudier Y, Deffeyes JE, Gila T, Hayes HB, Trumbower RD. Constraints on Stance-Phase Force Production During Overground Walking in Persons with Chronic Incomplete Spinal Cord Injury. *J Neurotrauma*. 2017;5895:1–34.
 21. Phadke CP, Wu SS, Thompson FJ, Behrman AL. Comparison of Soleus H-Reflex Modulation After Incomplete Spinal Cord Injury in 2 Walking Environments: Treadmill With Body Weight Support and Overground. *Arch Phys Med Rehabil*. 2007;88(12):1606–13.
 22. Van Der Salm A, Nene A V., Maxwell DJ, Veltink PH, Hermens HJ, Ijzerman MJ. Gait impairments in a group of patients with incomplete spinal cord injury and their relevance regarding therapeutic approaches using functional electrical stimulation. *Artif Organs*. 2005;29(1):8–14.
 23. Hornby TG, Lewek MD, Thompson CK, Heitz R. Repeated maximal volitional effort contractions in human spinal cord injury: initial torque increases and reduced fatigue. *Neurorehabil Neural Repair*. 2009;23(9):928–38.
 24. Eken MM, Dallmeijer AJ, Houdijk H, Doorenbosch CAM. Muscle fatigue during repetitive voluntary contractions: a comparison between children with cerebral palsy, typically developing children and young healthy adults. *Gait & Posture*. England; 2013 Sep;38(4):962–7.
 25. Moreau NG, Geaghan JP, Damiano DL. Contributors to Fatigue Resistance of the Hamstrings and Quadriceps in Cerebral Palsy. 2010;24(4):355–60.
 26. Dobkin BH. Fatigue Versus Activity-Dependent Fatigability in Patients With Central or Peripheral Motor Impairments. *Neurorehabil Neural Repair*. 2008;22(2):105–10.
 27. Ramdharry GM, Day BL, Reilly MM, Marsden JF. Hip flexor fatigue limits walking in Charcot-Marie-Tooth disease. *Muscle and Nerve*. 2009;40(1):103–11.
 28. McLoughlin J V., Barr CJ, Crotty M, Sturnieks DL, Lord SR. Six minutes of walking leads to reduced lower limb strength and increased postural sway in people with Multiple Sclerosis. *NeuroRehabilitation*. 2014;35(3):503–8.

29. Vitiello D, Pochon L, Malatesta D, Girard O, Newman CJ, Degache F. Walking-induced muscle fatigue impairs postural control in adolescents with unilateral spastic cerebral palsy. *Res Dev Disabil*. 2016;53–54:11–8.
30. Rybar MM, Walker ER, Kuhnen HR, Ouellette DR, Berrios R, Hunter SK, et al. The stroke-related effects of hip flexion fatigue on over ground walking. *Gait & Posture*. 2014 Apr;39(4):1103–8.
31. Kirshblum SC, Burns SP, Biering-Sorensen F, Donovan W, Graves DE, Jha A, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*. 2011;34(6):535–46.
32. Brasil. Ministério da Saúde. Diretrizes de atenção à pessoa com lesão medular. 2015.
33. Leal-Filho MB, Borges G, De Almeida BR, Aguiar ADAX, Vieira MADCES, Dantas KDS, et al. Spinal cord injury: Epidemiological study of 386 cases with emphasis on those patients admitted more than four hours after the trauma. *Arq Neuropsiquiatr*. 2008;66(2):365–8.
34. Schuld C, Franz S, Brüggemann K, Heutehaus L, Weidner N, Kirshblum SC, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury: impact of the revised worksheet (revision 02/13) on classification performance. *J Spinal Cord Med*. 2016;0268(June):1–9.
35. Mekary RA, Sharif SY, Lim J, Dewan MC, Osorio-Fonseca E, Kumar R, et al. Traumatic Spinal Injury: Global Epidemiology and Worldwide Volume. *World Neurosurg*. Elsevier Inc.; 2018;113:e345–63.
36. Barbetta DC, Smanioto TR, Poletto MF, Ferreira RFA, Lopes ACG, Casaro FM, et al. Spinal cord injury epidemiological profile in the Sarah Network of Rehabilitation Hospitals — a Brazilian population sample. *Spinal Cord Ser Cases*. Springer US; 2018;2–7.
37. New PW, Marshall R. International Spinal Cord Injury Data Sets for non-traumatic spinal cord injury. *Spinal Cord* [Internet]. Nature Publishing Group; 2014;52(2):123–32.
38. New PW, Sundararajan V. Incidence of non-traumatic spinal cord injury in Victoria, Australia: a population-based study and literature review. *Spinal Cord*. 2008;46(6):406–11.
39. Van der Putten JJ, Stevenson VL, Playford ED, Thompson AJ. Factors affecting functional outcome in patients with nontraumatic spinal cord lesions after inpatient rehabilitation. *Neurorehabil Neural Repair*. 2001;15(2):99–104.
40. New PW, Rawicki HB, Bailey MJ. Nontraumatic spinal cord injury: demographic characteristics and complications. *Arch Phys Med Rehabil*. United States; 2002 Jul;83(7):996–1001.
41. Jackson AB, Dijkers M, Devivo MJ, Poczatek RB, Ab AJ, Dijkers M, et al. A Demographic Profile of New Traumatic Spinal Cord Injuries : Change and Stability Over 30 Years. 2004;85:1740–8.
42. Devivo MJ. Epidemiology of traumatic spinal cord injury: trends and future implications. *Spinal Cord*. Nature Publishing Group; 2012;50(5):365–72.

43. National Spinal Cord Injury Statistical Center. Spinal Cord Injury Facts and Figures at a Glance. *J Spinal Cord Med*. 2014;37(3):355–6.
44. Anderson KD. Targeting Recovery: Priorities of the Spinal Cord-Injured Population. *J Neurotrauma*. 2004;21(10):1371–83.
45. Burns SP, Gelding DG, Rolle WA, Graziani V, Ditunno JF. Recovery of Ambulation in Motor-Incomplete Tetraplegia. *Arch Phys Med Rehabil*. 1997;78:1169–72.
46. Hayes HB, Chvatal SA, French MA, Ting LH, Trumbower RD. Neuromuscular constraints on muscle coordination during overground walking in persons with chronic incomplete spinal cord injury. *Clin Neurophysiol*. 2014;125(10):2024–35.
47. Jayaraman A, Gregory CM, Bowden M, Stevens JE, Shah P, Behrman AL, et al. Lower extremity skeletal muscle function in persons with incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2006;44(2):680–7.
48. Waters RL, Yakura JS, Adkins RH. Gait performance after spinal cord injury. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;288(3):87–96.
49. Nadeau S, Gravel D, Olney SJ. Determinants, Limiting Factors, and Compensatory Strategies in Gait. *Crit Rev Phys Rehabil Med Phys Rehabil Med*. 2001;13(1):1–26.
50. Rybar MM, Walker ER, Kuhnen HR, Ouellette DR, Hunter SK, Hyingstrom AS. The stroke-related effects of hip flexion fatigue on over ground walking. *Gait Posture*. 2014;39(4):1103–8.
51. Kluger BM, Krupp LB, Enoka RM. Fatigue and fatigability in neurologic illnesses : Proposal for a unified taxonomy. *Neurology*. 2013;80(3):409–17.
52. Bachasson D, Temesi J, Bankole C, Lagrange E, Boutte C, Millet GY, et al. Assessment of quadriceps strength, endurance and fatigue in FSHD and CMT: Benefits and limits of femoral nerve magnetic stimulation. *Clin Neurophysiol. International Federation of Clinical Neurophysiology*; 2014;125(2):396–405.
53. Orlando G, Balducci S, Bazzucchi I, Pugliese G, Sacchetti M. Muscle fatigability in type 2 diabetes. *Diabetes Metab Res Rev*. 2016 May;64(4):319–22.
54. Severijns D, Zijdewind I, Dalgas U, Lamers I, Lismont C, Feys P. The Assessment of Motor Fatigability in Persons with Multiple Sclerosis: A Systematic Review. *Neurorehabil Neural Repair*. 2017;31(5):413–31.
55. Taylor JL, Gandevia SC. A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. *J Appl Physiol*. 2008;104(21):542–50.
56. Dimitrov G V., Arabadzhiev TI, Mileva KN, Bowtell JL, Crichton N, Dimitrova NA. Muscle fatigue during dynamic contractions assessed by new spectral indices. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38(11):1971–9.
57. Mccrary JM, Ackermann BJ, Halaki M. EMG amplitude, fatigue threshold, and time to task failure: A meta-analysis. *J Sci Med Sport. Sports Medicine*.

- 2018;21(7):736-741.
58. Bigland-Ritchie BR, Dawson J, Johansson RS, Lippold OCJ. Reflex origin for the slowing of motoneurone firing rates in fatigue of human voluntary contractions. *J Physiol.* 1986;379:451–9.
 59. Boyas S, Guevel A. Neuromuscular fatigue in healthy muscle: underlying factors and adaptation mechanisms. *Ann Phys Rehabil Med.* 201;54(2):88–108.
 60. Enoka RM, Duchateau J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *J Physiol.* 2008;5861:11–23.
 61. Vøllestad NK. Measurement of human muscle fatigue. *J Neurosci Methods.* 1997;74:219–27.
 62. Christian RJ, Bishop DJ, Billaut F, Girard O. Peripheral fatigue is not critically regulated during maximal, intermittent, dynamic leg extensions. *J Appl Physiol.* 2014;117(9):1063–73.
 63. Boudarham J, Roche N, Teixeira M, Hameau S, Robertson J, Bensmail D, et al. Relationship between neuromuscular fatigue and spasticity in chronic stroke patients: A pilot study. *J Electromyogr Kinesiol.* 2014;24(2):292–9.
 64. Brunton LK, Rice CL. Fatigue in cerebral palsy: a critical review. *Dev Neurorehabil.* 2012;15(1):54–62.
 65. Eken MM, Brændvik SM, Bardal EM, Houdijk H, Dallmeijer AJ, Roeleveld K. Lower limb muscle fatigue during walking in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2018;29(8):1–7.
 66. Ditor DS, Hamilton S, Tarnipolsky MA, Green HJ, Craven BC, Parise G, et al. Na⁺, K⁺-ATPase Concentration and fiber type distribution after spinal cord injury. *Muscle Nerve.* 2004;29(1):38–45.
 67. Gorgey AS, Dudley GA. Spasticity may defend skeletal muscle size and composition after incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2008;46(2):96–102.
 68. Moreau NG, Li L, Geaghan JP, Damiano DL. Fatigue resistance during a voluntary performance task is associated with lower levels of mobility in cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008;89(10):2011–6.
 69. Toffola ED, Sparpaglione D, Pistorio A, Buonocore M. Myoelectric manifestations of muscle changes in stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil. United States;* 2001 May;82(5):661–5.
 70. Hameau S, Bensmail D, Roche N, Zory R. Fatigability in Patients With Multiple Sclerosis During Maximal Concentric Contractions. *Arch Phys Med Rehabil.* 2017;98(7):1339–47.
 71. Janssen TWJ, Dallmeijer AJ, Veeger D, van der Woude LH V. Normative values and determinants of physical capacity in individuals with spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev.* 2002;39(1):29–39.
 72. Valderramas S, Feres AC, Melo A. Reliability and validity study of a Brazilian-Portuguese version of the fatigue severity scale in Parkinson's disease

- patients. *Arq Neuropsiquiatr.* 2012;70(7):497–500.
73. Riberto M, Tavares DA, Rimoli JRJ, Castineira CP, Dias RV, Franzoi AC, et al. Validação da versão brasileira da Medida de Independência da Medula Espinhal III. *Arq Neuropsiquiatr.* 2014;72(6):439–44.
 74. Hasegawa T, Uchiyama Y, Uemura K, Harada Y, Sugiyama M, Tanaka H. Physical impairment and walking function required for community ambulation in patients with cervical incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2014;52(5):396–9.
 75. Baunsgaard CB, Nissen U V, Christensen KB, Biering-Sorensen F. Modified Ashworth scale and spasm frequency score in spinal cord injury: reliability and correlation. *Spinal Cord.* 2016 Sep;54(9):702–8.
 76. Jiroumaru T, Kurihara T, Isaka T. Measurement of muscle length-related electromyography activity of the hip flexor muscles to determine individual muscle contributions to the hip flexion torque. *Springerplus.* 2014;3(1):624.
 77. Merletti AR, Torino P. Standards for Reporting EMG Data. *J Electromyogr Kinesiol.* 1999;36:I–II.
 78. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol.* 2000;10(5):361–74.
 79. Criswell E. *Cram's Introduction to Surface Electromyography.* 1998.
 80. Tixa S. *Atlas de Anatomia Palpatória do Membro Inferior.* 1st Ed. Barueri: Manole; 2000.
 81. Jiroumaru T, Kurihara T, Isaka T. Establishment of a recording method for surface electromyography in the iliopsoas muscle. *J Electromyogr Kinesiol.* 2014;24(4):445–51.
 82. Sehle A, Vieten M, Mündermann A, Dettmers C. Difference in motor fatigue between patients with stroke and patients with multiple sclerosis: A pilot study. *Front Neurol.* 2014;5(12):1–10.
 83. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(5):377–81.
 84. Moreau NG, Falvo MJ, Damiano DL. Rapid force generation is impaired in cerebral palsy and is related to decreased muscle size and functional mobility. *Gait & Posture.* 2012;35(1):154–8.
 85. Richardson JTE. Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research. *Educ Res Rev.* 2011;6(2):135–47.
 86. Maffiuletti NA, Aagaard P, Blazeovich AJ, Folland J, Tillin N, Duchateau J. Rate of force development: physiological and methodological considerations. *Eur J Appl Physiol.* Springer. 2016;116(6):1091–116.
 87. Thorlund JB, Michalsik LB, Madsen K, Aagaard P. Acute fatigue-induced changes in muscle mechanical properties and neuromuscular activity in elite handball players following a handball match. *Scand J Med Sci Sport.* 2008;18(4):462–72.

88. Alota V, Pereira I, Barbieri FA, Zagatto AM, Rocha C, Simieli L, et al. Muscle Fatigue Does Not Change the Effects on Lower Limbs Strength Caused by Aging and Parkinson ' s Disease. *Aging Dis.* 2018;9(6):988–98.
89. Fuglevand BYAJ, Zackowski KM, Huey KA, Enoka RM. Impairment of neuromuscular propagation during human fatiguing contractions at submaximal forces. *J Physiol.* 1993;460:549–72.
90. Julienne R, Gauthier A, Davenne D. Physical Therapy in Sport Fatigue-resistance of the internal rotator muscles in the tennis player ' s shoulder : Isokinetic and electromyographic analysis. *Phys Ther Sport.* 2012;13(1):22–6.
91. Lin K-H, Chen Y-C, Luh J-J, Wang C-H, Chang Y-J. H-Reflex, Muscle Voluntary Activation Level, and Fatigue Index of Flexor Carpi Radialis in Individuals With Incomplete Cervical Cord Injury. *Neurorehabil Neural Repair.* 2012;26(1):68–75.
92. Eken MM, Dallmeijer AJ, Doorenbosch CA, Dekkers H, Becher JG, Houdijk H. Assessment of muscle endurance of the knee extensor muscles in adolescents with spastic cerebral palsy using a submaximal repetitions-to-fatigue protocol. *Arch Phys Med Rehabil.* 2014;95(10):1888–94.
93. Hyingstrom AS, Onushko T, Heitz RP, Rutkowski A, Hunter SK, Schmit BD. Stroke-related changes in neuromuscular fatigue of the hip flexors and functional implications. *Am J Phys Med Rehabil.* 2012;91(1):33–42.
94. Gandevia SC, Hales JP. Muscle performance , voluntary activation , twitch properties and perceived effort in normal subjects and patients with the chronic fatigue. 1991;114(2):85–98.
95. Fawkes-Kirby TM, Wheeler M a, Anton H a, Miller WC, Townson a F, Weeks C a O. Clinical correlates of fatigue in spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2008;46(1):21–5.
96. Lemay JF, Duclos C, Nadeau S, Gagnon D, Desrosiers M. Postural and dynamic balance while walking in adults with incomplete spinal cord injury. *J Electromyogr Kinesiol.*2014;24(5):739–46.
97. Mehrholz J, Kugler J, Pohl M. Locomotor training for walking after spinal cord injury. *Cochrane database Syst Rev.* 2012;11(11):1-49.
98. Morawietz C, Moffat F. Effects of locomotor training after incomplete spinal cord injury: A systematic review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 2013. 94(11):2297–308.
99. Wessels M, Lucas C, Eriks I, Groot S De. Body weight-supported gait training for restoration of walking in people with an incomplete spinal cord injury : a systematic review. *J rehabil Med.* 2010;42(April):513–9.

APÊNDICES E ANEXOS

APÊNDICE I

FICHA DE AVALIAÇÃO

DADOS PESSOAIS

Nome:	
Idade:	Data de Nascimento:
Registro:	Sexo: () Masculino () Feminino
MMII Dominante: () Direito () Esquerdo	Estado civil:
Escolaridade:	Profissão:

DADOS CLÍNICOS

Diagnóstico:		Tempo de Lesão (anos):	
Altura:	Peso:	IMC:	
Medicamento em uso:			
() Traumática () Não-traumática		Etiologia:	
ISNCSCI (ASIA)			
Nível de Lesão:	Nível Motor:	Nível Sensitivo:	AIS:
UEMS:	MSD:	MSE::	LEMS MID: MIE:
Força Muscular de MMII (ASIA)			
Flexores de quadril: Direito _____ Esquerdo _____			
Extensores de joelho: Direito _____ Esquerdo _____			
Dorsiflexores: Direito _____ Esquerdo _____			
Plantiflexores: Direito _____ Esquerdo _____			
Extensor do hálux: Direito _____ Esquerdo _____			
MARCHA E QUEDAS			
Auxílio-locomção: () SIM () NÃO		Tipo de auxílio-locomção:	
Quedas (último ano) () SIM () NÃO		Quantas quedas?	
Dano(s) associado(s) a queda(s):			
Você tem medo de cair? () SIM () NÃO			
Utiliza cadeira de rodas ou dispositivo de motorização? () SIM () NÃO			
Qual?			

APÊNDICE II

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE

Título do Projeto: Influência da fadiga durante a marcha na função neuromuscular de flexores de quadril em indivíduos com lesão medular incompleta

Você, _____, está sendo convidado a participar desta pesquisa que vai quantificar o efeito de um período de caminhada sob a função muscular dos músculos do quadril, de pessoas que sofreram uma lesão na medula e de pessoas sem nenhuma lesão neurológica.

Você foi escolhido (a) pois se enquadra no perfil da pesquisa: apresenta lesão medular incompleta (possui alguma força na perna) e consegue caminhar de forma independente (com ou sem auxílio-locomoção). Sua participação consiste no comparecimento ao hospital em um dia, para realizar uma avaliação com fisioterapeuta e um teste de caminhada para fadigar o músculo da perna. Também será avaliada a força da perna em dois momentos: antes e depois do teste de caminhada. Após o teste de caminhada, você poderá descansar alguns minutos, até referir estar apto a realizar a segunda avaliação de força da perna (pós-teste de caminhada). Você também responderá um questionário, falando sobre atividades do cotidiano e dados sobre sua saúde atual.

Para avaliar a força da perna, serão utilizados dois aparelhos: dinamômetro isocinético e eletromiografia de superfície. A eletromiografia de superfície é um método de avaliação não-invasiva, que mensura o estímulo muscular durante o teste de força, captando os dados através de sensores colocados sob a pele. As avaliações de força serão utilizadas para aquisição dos dados da pesquisa e não fazem parte das atividades de reabilitação.

Hoje em dia não se sabe o quanto um período de caminhada pode fadigar o músculo do quadril de pessoas com lesão medular. Esse músculo é responsável por levar a perna para frente durante a caminhada e, com esse músculo fadigado, esse movimento pode ficar mais difícil.

Os dados serão avaliados pelo pesquisador na Universidade de Brasília, para saber o quanto a caminhada fadigou o músculo do quadril, e comparar os resultados entre pessoas com e sem lesão medular, para verificar se a caminhada fadigou mais o músculo de pessoas com lesão medular.

Os riscos decorrentes da sua participação estão relacionados com a possibilidade de ocorrência de tropeços ou quedas durante o teste de caminhada, cansaço e algum desconforto muscular. Um fisioterapeuta acompanhará você todo teste de caminhada, se for percebido risco de quedas, o teste será interrompido e você será amparado. Qualquer dor, desconforto ou cansaço excessivo durante ou após o protocolo do estudo, o teste também será interrompido. Os benefícios da pesquisa serão: auxiliar os profissionais na prescrição de exercícios que melhorem o desempenho da marcha de pessoas com lesão medular, entender melhor o porquê a caminhada para longas distâncias fica mais difícil e saber se o equilíbrio piora com o músculo fadigado.

Você não terá nenhum gasto e também não receberá nenhum pagamento por participar desse estudo. Caso sofra algum dano decorrente de sua participação durante o teste de caminhada ou nos testes de força, você receberá a assistência integral e imediata, pelo tempo que for necessário.

As informações obtidas nesse estudo serão confidenciais, sendo assegurado o sigilo sobre sua participação, quando da apresentação dos resultados em publicação científica ou educativa, uma vez que os resultados serão sempre apresentados como dados de um grupo e não de uma pessoa.

Você poderá se recusar a participar ou a responder algumas das questões a qualquer momento, não havendo nenhum prejuízo pessoal se esta for a sua decisão.

Você receberá uma via deste termo no qual constam o telefone e o endereço do pesquisador responsável, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento.

Pesquisador responsável: Jefferson Rodrigues Dorneles, telefone (82) 99918-7523, e-mail: jefferson_rd@yahoo.com.br

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Associação das Pioneiras Sociais (CEP), que poderá ser contatado em caso de questões éticas, em horário comercial (das 08:00h às 17:00h com intervalo para almoço de 12:00 às 13:00h) pelo telefone: (61) 3319-1494 ou e-mail: comiteeticapesquisa@sarah.br

Dou meu consentimento de livre e espontânea vontade para participar deste estudo.

Nome do participante (em letra de forma)

Assinatura do participante ou representante legal

Data

Nome (em letra de forma) e Assinatura do pesquisador

Data

APÊNDICE III

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - Grupo Controle

Título do Projeto: Influência da fadiga durante a marcha na função neuromuscular de flexores de quadril em indivíduos com lesão medular incompleta

Você, _____, está sendo convidado a participar desta pesquisa que vai quantificar o efeito de um período de caminhada sob a função muscular dos músculos do quadril, de pessoas que sofreram uma lesão na medula e de pessoas sem nenhuma lesão neurológica.

Sua participação consiste no comparecimento ao hospital em um dia, para realizar uma avaliação com fisioterapeuta e um teste de caminhada para fadigar o músculo da perna. Também será avaliada a força da perna em dois momentos: antes e depois do teste de caminhada. Após o teste de caminhada, você poderá descansar alguns minutos, até referir estar apto a realizar a segunda avaliação de força da perna (pós-teste de caminhada). Você também responderá um questionário, falando sobre atividades do cotidiano e dados sobre sua saúde atual.

Para avaliar a força da perna, serão utilizados dois aparelhos: dinamômetro isocinético e eletromiografia de superfície. A eletromiografia de superfície é um método de avaliação não-invasiva, que mensura o estímulo muscular durante o teste de força, captando os dados através de sensores colocados sob a pele.

Hoje em dia não se sabe o quanto um período de caminhada pode fadigar o músculo do quadril de pessoas com lesão medular. Esse músculo é responsável por levar a perna para frente durante a caminhada e, com esse músculo fadigado, esse movimento pode ficar mais difícil, principalmente para pessoas com lesão medular.

Os dados serão avaliados pelo pesquisador na Universidade de Brasília, para saber o quanto a caminhada fadigou o músculo do quadril, e comparar os resultados entre pessoas com e sem lesão medular, para verificar se a caminhada fadigou mais o músculo de pessoas com lesão medular.

Os riscos decorrentes da sua participação estão relacionados com a possibilidade de ocorrência cansaço e algum desconforto muscular. Um fisioterapeuta acompanhará você todo teste de caminhada e caso você apresente qualquer dor, desconforto ou cansaço excessivo durante ou após o protocolo do estudo, o teste será interrompido e você será amparado. Os benefícios da pesquisa serão: auxiliar os profissionais na prescrição de exercícios que melhorem o desempenho da marcha de pessoas com lesão medular, entender melhor o porquê a caminhada para longas distâncias fica mais difícil e saber se o equilíbrio piora com o músculo fadigado.

Você não terá nenhum gasto e também não receberá nenhum pagamento por participar desse estudo. Caso sofra algum dano decorrente de sua participação durante o teste de caminhada ou nos testes de força, você receberá a assistência integral e imediata, pelo tempo que for necessário.

As informações obtidas nesse estudo serão confidenciais, sendo assegurado o sigilo sobre sua participação, quando da apresentação dos resultados em publicação científica ou educativa, uma vez que os resultados serão sempre apresentados como dados de um grupo e não de uma pessoa.

Você poderá se recusar a participar ou a responder algumas das questões a qualquer momento, não havendo nenhum prejuízo pessoal se esta for a sua decisão.

Você receberá uma via deste termo no qual constam o telefone e o endereço do pesquisador responsável, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento.

Pesquisador responsável: Jefferson Rodrigues Dorneles, telefone (82) 99918-7523, e-mail: jefferson_rd@yahoo.com.br

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Associação das Pioneiras Sociais (CEP), que poderá ser contatado em caso de questões éticas,

em horário comercial (das 08:00h às 17:00h com intervalo para almoço de 12:00 às 13:00h) pelo telefone: (61) 3319-1494 ou e-mail: comiteeticapesquisa@sarah.br

Dou meu consentimento de livre e espontânea vontade para participar deste estudo.

Nome do participante (em letra de forma)

Assinatura do participante ou representante legal

Data

Nome (em letra de forma) e Assinatura do pesquisador

Data

ANEXO A
AVALIAÇÃO DE ATIVIDADE FÍSICA

Quantas horas de atividade física você pratica por semana?

- 0 horas por semana
- 1 a 3 horas por semana
- 3 a 6 horas por semana
- >6 horas por semana

Qual tipo de atividade física você pratica?

Sedentário	0 horas por semana
Moderadamente ativo	1 a 3 horas por semana
Ativo	3 a 6 horas por semana
Muito ativo/atleta	>6 horas por semana

Proposta por Janssen et. al (2002)

ANEXO B
ESCALA DE SEVERIDADE DE FADIGA

Orientar o paciente a escolher um escore de 1 a 7. O escore 1 indica uma forte discordância com o item e o 7 uma forte concordância. As afirmações/itens referem-se as duas últimas semanas

DESCRIÇÃO DOS ITENS		ESCORES						
1	Minha motivação é menor quando eu estou fadigado	1	2	3	4	5	6	7
2	Exercícios me deixam fadigado	1	2	3	4	5	6	7
3	Eu estou facilmente fadigado	1	2	3	4	5	6	7
4	A fadiga interfere com meu desempenho	1	2	3	4	5	6	7
5	A fadiga causa problemas frequentes para mim	1	2	3	4	5	6	7
6	Minha fadiga impede um desempenho físico constante	1	2	3	4	5	6	7
7	A fadiga interfere com a execução de certas obrigações e responsabilidades	1	2	3	4	5	6	7
8	A fadiga é um dos três sintomas mais incapacitantes que tenho	1	2	3	4	5	6	7
9	A fadiga interfere com meu trabalho, minha família ou com minha vida social	1	2	3	4	5	6	7

** Valores acima de 28 podem ser considerados como indicador de presença de fadiga

TOTAL: _____

ANEXO C

SCIM III - MEDIDA DE INDEPENDÊNCIA DE MEDULA ESPINHAL

Versão Brasileira do SCIM III, 14 de setembro 2002

Cuidados Pessoais - SUBTOTAL (0-20)

- Alimentação:

- Necessita de alimentação parental, de gastrostomia ou assistência total para alimentação oral (0)
- Necessita de assistência parcial para comer ou beber ou para utilizar dispositivos de adaptação (1)
- Come com independência; necessita de dispositivos de adaptação ou assistência somente para cortar os alimentos e/ou despejar e/ou abrir recipientes (2)
- Come e bebe com independência; não necessita de assistência ou dispositivos de adaptação (3)

- Tomar banho (parte superior do corpo):

- Necessita de assistência total (0)
- Necessita de assistência parcial (1)
- Lava-se com independência com dispositivos de adaptação ou em locais adaptados (por exemplo, com barras, na cadeira) (2)
- Lava-se com independência; não necessita de dispositivos de adaptação ou locais adaptados (que não sejam de uso habitual para indivíduos saudáveis) (**dala**) (3)

- Tomar banho (parte inferior do corpo):

- Necessita de assistência total (0)
- Necessita de assistência parcial (1)
- Lava-se com independência com dispositivos de adaptação ou em locais adaptados (por exemplo, com barras, na cadeira) (2)
- Lava-se com independência; não necessita de dispositivos de adaptação ou locais adaptados (que não sejam de uso habitual para indivíduos saudáveis) (**dala**) (3)

- Vestir-se (parte superior do corpo):

- Necessita de assistência total (0)
- Necessita de assistência parcial com roupas sem botões, zíperes ou cadarços (**rsbzc**) (1)
- Independente em relação a **rsbzc**; necessita de dispositivos de adaptação e/ou locais adaptados (**dala**) (2)

- Independente em relação a rsbzc; não necessita de dala; necessita de assistência somente ou dala somente para bzc (3)
 - Veste (qualquer roupa) com independência; não necessita de dispositivos de adaptação ou locais adaptados (4)
- Vestir-se (parte inferior do corpo):**
- Necessita de assistência total (0)
 - Necessita de assistência parcial com roupas sem botões, zíperes ou cadarços (**rsbzc**) (1)
 - Independente em relação a **rsbzc**; necessita de dispositivos de adaptação e/ou locais adaptados (**dala**) (2)
 - Independente em relação a rsbzc; não necessita de dala; necessita de assistência somente ou dala somente para bzc (3)
 - Veste (qualquer roupa) com independência; não necessita de dispositivos de adaptação ou locais adaptados (4)
- Cuidados com a aparência exterior:**
- Necessita de assistência total (0)
 - Necessita de assistência parcial (1)
 - Arruma-se com independência usando dispositivos de adaptação (2)
 - Arruma-se com independência sem o uso de dispositivos de adaptação (3)

Respiração e Controle do Esfíncteres - SUBTOTAL (0 – 40)

- Respiração:

- Necessita de tubo traqueal (TT) e ventilação assistida intermitente ou permanente (VAIP) (0)
- Respira com independência com TT; necessita de oxigênio, muita ajuda para tossir ou cuidados com o TT (2)
- Respira com independência com TT; necessita de pouca ajuda para tossir ou administrar o TT (4)
- Respira com independência sem TT; necessita de oxigênio, muita ajuda para tossir, uma máscara (por exemplo, PEEP) ou VAIP (BIPAP) (6)
- Respira com independência sem TT; necessita de pouca assistência ou estimulação para tossir (8)
- Respira com independência sem assistência ou dispositivo (10)

- Controle do Esfíncter – Bexiga:

- Cateter de demora (0)
- Volume de urina residual (VUR) > 100cc; nenhum cateterismo regular ou cateterismo assistido intermitente (3)
- VUR < 100cc ou auto-cateterismo intermitente; necessita de assistência para utilizar os instrumentos de drenagem (6)
- Auto-cateterismo intermitente; utiliza instrumentos de drenagem externos; não necessita de assistência para utilização (9)
- Auto-cateterismo intermitente; continente entre cateterismos; não utiliza

instrumentos de drenagem externos (11)

- VUR <100cc; necessita somente de drenagem externa da urina; não é necessária nenhuma assistência para fazer a drenagem (13)
- VUR <100cc; continente; não utiliza instrumentos de drenagem externa da urina (15)

- Controle do Esfíncter – Intestino:

- Movimentos intestinais em horários irregulares ou com baixíssima frequência (menos que uma vez em 3 dias) (0)
- Horários regulares, mas necessita assistência (por exemplo, para aplicar supositório); acidentes são raros (menos que duas vezes por mês) (5)
- Movimentos intestinais regulares, sem assistência, acidentes são raros (menos que duas vezes por mês) (8)
- Movimentos intestinais regulares, sem assistência; sem acidentes (10)

- Uso do vaso sanitário:

- Necessita de assistência total (0)
- Necessita de assistência parcial; não se limpa sozinho (1)
- Necessita de assistência parcial; limpa-se com independência (2)
- Usa o toalete com independência em todas as tarefas, mas necessita de dispositivos de adaptação ou locais adaptados (por exemplo, com barras) (4)
- Usa o toalete com independência; não necessita de dispositivos de adaptação ou locais adaptados (5)

Mobilidade (quarto e banheiro) - SUBTOTAL (0 – 40)

- Mobilidade na Cama e Movimentos para Impedir o Aparecimento de Úlceras de Pressão (Escaras):

- Necessita de assistência em todas as atividades: mover a parte superior do corpo na cama, mover a parte inferior do corpo na cama, ficar sentado na cama, fazer push-ups na cadeira de rodas, com ou sem dispositivos de adaptação, mas não com ajuda de equipamentos elétricos (0)
- Faz uma das atividades sem ajuda (2)
- Faz duas ou três atividades sem ajuda (4)
- Faz todas as atividades de mobilidade na cama e movimentos para alívio da pressão com independência (6)

- Transferências (cama-cadeira de rodas):

- Necessita de assistência total (0)
- Necessita de assistência parcial e/ou supervisão, e/ou dispositivos de adaptação (por exemplo, tábua de transferência) (1)
- Independente (ou não precisa de cadeira de rodas) (2)

- Transferências (cadeira de rodas-vaso sanitário ou banheira):

- Necessita de assistência total (0)
- Necessita de assistência parcial e/ou supervisão, e/ou dispositivos de adaptação (por exemplo, barras de apoio) (1)
- Independente (ou não precisa de cadeira de rodas) (2)

Mobilidade (dentro e fora de casa, ou em superfícies planas)**- Mobilidade Dentro de Casa**

- Necessita de assistência total (0)
- Necessita de cadeira de rodas elétrica ou assistência parcial para operar uma cadeira de rodas manual (1)
- Move-se com independência com uma cadeira de roda manual (2)
- Necessita de supervisão ao andar (com ou sem dispositivos) (3)
- Anda com um andador ou muletas (movimento pendular) (4)
- Anda com muletas ou duas bengalas (caminhar recíproco) (5)
- Anda com uma bengala (6)
- Necessita somente de órtese em membro inferior (7)
- Anda sem instrumentos auxiliares de locomoção (8)

- Mobilidade para Distâncias Moderadas (10-100 metros)

- Necessita de assistência total (0)
- Necessita de cadeira de rodas elétrica ou assistência parcial para operar uma cadeira de rodas manual (1)
- Move-se com independência com uma cadeira de roda manual (2)
- Necessita de supervisão ao andar (com ou sem dispositivos) (3)
- Anda com um andador ou muletas (movimento pendular) (4)
- Anda com muletas ou duas bengalas (caminhar recíproco) (5)
- Anda com uma bengala (6)
- Necessita somente de órtese em membro inferior (7)
- Anda sem instrumentos auxiliares de locomoção (8)

- Mobilidade Fora de Casa (mais que 100 metros)

- Necessita de assistência total (0)
- Necessita de cadeira de rodas elétrica ou assistência parcial para operar uma cadeira de rodas manual (1)
- Move-se com independência com uma cadeira de roda manual (2)
- Necessita de supervisão ao andar (com ou sem dispositivos) (3)
- Anda com um andador ou muletas (movimento pendular) (4)
- Anda com muletas ou duas bengalas (caminhar recíproco) (5)
- Anda com uma bengala (6)
- Necessita somente de órtese em membro inferior (7)
- Anda sem instrumentos auxiliares de locomoção (8)

- Controle em Escadas

- Incapaz de subir ou descer escadas (0)
- Sobe e desce pelo menos 3 degraus com ajuda ou supervisão de outra pessoa (1)
- Sobe e desce pelo menos 3 degraus com ajuda de corrimão e/ou muleta ou bengala (2)
- Sobe e desce pelo menos 3 degraus sem qualquer suporte ou supervisão (3)

- Transferências (cadeira de rodas-carro)

- Necessita de assistência total (0)
- Necessita de assistência parcial e/ou supervisão, e/ou dispositivos de adaptação (1)
- Faz a transferência com independência, não precisa de dispositivos de adaptação (ou não precisa de cadeira de rodas) (2)

- Transferências (chão-cadeira de rodas):

- Necessita de assistência (0)
- Faz a transferência com independência, com ou sem dispositivos de adaptação (ou não precisa de cadeira de rodas) (1)

ESCORE TOTAL SCIM _____ (0 – 100)

ANEXO D**ESCALA DE ASHWORTH MODIFICADA**

Grau	Descrição
0	Sem aumento de tônus neuromuscular
1	Discreto aumento do tônus neuromuscular, manifestado pelo ato de prender e soltar, ou por mínima resistência ao final da amplitude de movimento, quando a parte(s) afetada(s)
1+	Discreto aumento do tônus neuromuscular, manifestado pelo ato de prender e soltar, seguido de mínima resistência através do resto (menos da metade) da amplitude de movimento.
2	Marcante aumento do tônus neuromuscular através da maior parte da amplitude de movimento, porém as partes afetadas são facilmente movimentadas.
3	Considerável aumento do tônus neuromuscular; movimentos passivos dificultados.
4	A parte(s) afetada(s) mostra-se rígida à flexão ou extensão.

ANEXO E
TAXA DE PERCEPÇÃO DE ESFORÇO - ESCALA DE BORG

6 -
7 - Muito fácil
8 -
9 - Fácil
10 -
11- Razoavelmente fácil
12 -
13 - Ligeiramente cansativo
14 -
15 - Cansativo
16 -
17 - Muito cansativo
18 -
19 - Exausto
20 -

ANEXO F



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: INFLUÊNCIA DA FADIGA INDUZIDA DURANTE A MARCHA NA FUNÇÃO NEUROMUSCULAR DE FLEXORES DE QUADRIL EM INDIVÍDUOS COM LESÃO MEDULAR INCOMPLETA

Pesquisador: JEFFERSON RODRIGUES DORNELES

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 82548018.3.0000.0022

Instituição Proponente: ASSOCIACAO DAS PIONEIRAS SOCIAIS

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.588.838

Apresentação do Projeto:

A lesão medular é caracterizada por dano que acomete a medula espinhal, e pode ocasionar sequelas permanentes ou temporárias, com consequências na função motora, sensitiva e autonômica. Suas causas estão relacionadas a traumas (lesão medular traumática) ou afecções, como doenças congênitas, disfunções degenerativas da coluna vertebral ou doenças inflamatórias e autoimune (lesão medular não-traumática). A prevalência mundial por ano de lesão medular traumática é de 12.1 casos por mil pessoas, sendo os acidentes de trânsito, quedas, violência e atividades esportivas as principais causas. Há dificuldade para documentação da incidência da lesão medular não-traumática, sendo sua etiologia de múltiplas causas (tendo com principais: degeneração discal, estenose do canal espinhal, tumores, doenças vasculares e condições inflamatórias) porém estima-se uma incidência maior quando comparadas às lesões

Endereço: SMHS Quadra 301 Bloco B nº 45 Entrada A Edifício Pioneiras Sociais - Terceiro Andar

Bairro: SMHS

CEP: 70.334-900

UF: DF **Município:** BRASÍLIA

Telefone: (61)3319-1494

E-mail: comiteeticapesquisa@sarah.br

ANEXO G

17/02/2019

Yahoo Mail - Muscle and Nerve - Manuscript number MUS-19-0132

Muscle and Nerve - Manuscript number MUS-19-0132

De: Corrie Williams-Klamborowski (onbehalf@manuscriptcentral.com)

Para: rodrigocarregaro@unb.br

Cc: jefferson_rd@yahoo.com.br; fredribeironeto@gmail.com; rodrigorodrigues1@gmail.com; carlosoleto@gmail.com; rodrigocarregaro@unb.br

Data: domingo, 17 de fevereiro de 2019 11:47 BRT

17-Feb-2019

Dear Prof. Carregaro,

Your manuscript entitled "Does prolonged walking cause greater muscle fatigability in individuals with incomplete spinal cord injury compared with matched-controls?" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in Muscle and Nerve.

Your manuscript number is MUS-19-0132. Please mention this number in all future correspondence regarding this submission.

You can view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging into <https://mc.manuscriptcentral.com/mus>. If you have difficulty using this site, please click the 'Get Help Now' link at the top right corner of the site.

Thank you for submitting your manuscript to Muscle and Nerve.

Yours sincerely,

Muscle and Nerve Editorial Office