

Correlação entre ativação muscular e níveis de torque propulsor em diferentes tarefas de mobilidade em cadeira de rodas

Correlation between muscle activation and propulsive torque levels in different mobility tasks in a wheelchair

Sara Raquel Martins da Silva¹

Guilherme da Silva Bertolaccini²

Luis Carlos Paschoarelli³

Fausto Orsi Medola⁴

Resumo

O presente estudo teve como objetivo analisar a demanda sobre músculos dos membros superiores em diferentes tarefas de mobilidade com cadeira de rodas, a partir de um método de análise baseado na porcentagem em relação à ativação muscular durante torque propulsor estático máximo. Três sujeitos sem deficiência voluntariamente participaram deste estudo. Um torquímetro foi acoplado a uma plataforma para teste estacionário de cadeira de rodas foi utilizada para coletar medidas de torque propulsor máximo, com os usuários sentados na cadeira de rodas sobre a plataforma e realizando forças propulsoras de níveis crescentes. Durante os testes, a intensidade de atividade dos músculos peitoral maior, deltoide anterior, tríceps e bíceps foi medida por meio de eletromiografia de superfície. Ainda, estes dados foram coletados em quatro diferentes tarefas de mobilidade em cadeira de rodas, e correlacionados com os níveis de porcentagem em relação ao torque propulsor máximo. Os resultados demonstram um padrão crescente entre a intensidade de ativação muscular e as porcentagens de força proporcionais ao torque propulsor máximo. A tarefa de descer uma rampa foi a que exigiu menor esforço muscular, enquanto a aceleração máxima em linha reta foi a que exigiu maior atividade dos músculos dos membros superiores. Os resultados e método de análise aqui apresentados podem contribuir para a melhor compreensão da relação entre a mobilidade em cadeira de rodas e a intensidade de trabalho muscular em diferentes tarefas locomotoras.

Palavras-chave: Cadeiras de rodas, Mobilidade, Biomecânica, Eletromiografia, Tecnologia Assistiva.

Abstract

Objective: To describe a proposal of a method to analyze the muscle demand on upper limbs in four different mobility activities with manual wheelchair (Straight-line displacement at comfortable and maximum speed; Ramp up and down ramp) based on the analysis of the percentage of the muscular activation during maximum propulsion static torque. **Method:** Three subjects without disability ($30,67 \pm 3,21$ years, $1,75 \pm 0,03$ m, $71,00 \pm 9,54$ kg) voluntarily participated in the study. A manual wheelchair with rigid structure, stationary platforms, surface electromyography equipment, digital dynamometer and a static torque transducer were used. **Results:** Overall, there was an increasing pattern of muscle activation in the application of force during static and dynamic propulsion. In addition, the task of going down a ramp required less muscle activation than the task of straight-line propulsion at comfortable speed, which in turn required less muscle activity than the task of climbing a ramp, so the analysis indicated that the propulsion with straight acceleration was the task that required greater muscular effort. **Conclusion:** The study, although preliminary, presents a new proposal of a method for analysis of the demand of muscular work in the upper limbs in the accomplishment of characteristic displacements in the mobility in wheelchair, contributing to the understanding of the relation of the mobility and the intensity of the work muscular, besides providing ergonomic parameters related to the use of the wheelchair.

Key-words: Wheelchairs; Mobility; Biomechanics; Electromiography; Assistive Technology.

ISSN: 2316-7963

¹ Mestranda em Design, UNESP (saramartins@faac.unesp.br)

² Doutorando em Design, UNESP

³ Doutor em Engenharia, UNESP

⁴ Doutor em Bioengenharia, UNESP

1 Introdução

Garantir a eficiência e a mobilidade satisfatória é um fator chave para a independência e bem-estar de usuários de cadeira de rodas. Entretanto, propulsionar uma cadeira de rodas com os membros superiores demanda grande esforço muscular, representando um modo ineficiente de locomoção (Groot et al., 2014). Como resultado, a prevalência de dor e lesões nos membros superiores entre usuários de cadeira de rodas é elevada, e isto é fortemente associado ao estresse biomecânico ao qual são expostos os membros superiores durante a propulsão manual (Boninger et al., 2004; Morrow et al., 2010; Miyahara et al., 1998; Medola et al., 2010).

Para o usuário de cadeira de rodas, a atividade física pode contribuir para a saúde e mesmo a qualidade de vida (Medola et al., 2011). No entanto, o estudo de Subbarao et al. (1995) encontrou prevalência de dor em punho e ombro em cerca de 72%, e que a propulsão de cadeira de rodas foi a causa mais comumente reportada (Subbarao et al., 1995). Além de estudos dos aspectos práticos, questões relacionadas à significação de cadeira de rodas para seus usuários têm sido investigadas (Lanutti et al., 2015).

Ao impulsionar as rodas para frente, os usuários precisam liberar as mãos dos aros ao final da impulsão e move-los para trás para poder novamente segurar o aro e impulsionar novamente, o que significa que, durante um período significativo do ciclo propulsor, o usuário não está agindo nas rodas e, portanto, as forças inerciais desaceleram a cadeira, exigindo que o usuário impulsione com mais força para manter uma dada velocidade. A inércia desafia o usuário em toda manobra com sua cadeira de rodas, e o movimento resultante pode ser descrito por meio da energia cinética. Um estudo anterior demonstrou que o comportamento da energia cinética da cadeira de rodas em manobras livres é dependente de sua mecânica, velocidade e trajetória (Medola et al., 2014). Portanto, investigar a demanda sobre os membros superiores em diferentes manobras de cadeira de rodas pode indicar as situações que são mais estressantes a partir de uma perspectiva biomecânica. Além disso, este conhecimento pode contribuir com estudos que investigam as diferenças nas técnicas de propulsão e como o design da cadeira de rodas afeta as ações do usuário em situações de mobilidade que melhor representam a maneira com a qual se movimentam em suas rotinas diárias.

Propostas de aprimoramento no design da cadeira de rodas, com sistemas de assistência motorizada complementar às ações manuais (Lahr et al., 2017; Medola et al., 2015) e no design do aro de propulsão (Medola et al., 2012; Medola et al., 2011) tem sido reportada. No que diz respeito à análise biomecânica da propulsão manual, o estudo de Sabick e Kotajarvi (2004) buscou usar uma classificação ergonômica para caracterizar a demanda de grupos musculares dos membros superiores na propulsão manual. O método usado foi o Wheelchair Propulsion Strength Rating (WPSR), calculado a partir da razão do máximo momento da articulação registrado durante a propulsão e o valor máximo de momento da articulação em contração isométrica. Este tipo de abordagem pode ser efetivo para aprimorar as técnicas de propulsão, prevenção de lesões e reintegração do indivíduo na sociedade (Groot et al., 2014).

A análise biomecânica da propulsão manual de cadeira de rodas tem sido abordada no sentido de se verificar a influência de alterações no design e configuração do equipamento nos aspectos cinéticos e cinemáticos (Bertolaccini et al., 2017a; Berto-

laccini et al, 2017b; Louis; Gorce, 2010). Em um recente estudo, Gagnon et al (2015) investigou a cinética, cinemática e atividade elétrica muscular do tronco e ombros durante propulsão manual a velocidade constante autocontrolada em uma esteira motorizada, com variações em graus de inclinação. Os resultados confirmaram a hipótese de que a exigência de trabalho muscular é diretamente proporcional ao grau de inclinação da rampa, indicando um aumento na atividade nas maiores inclinações. Neste sentido, estudos com eletromiografia podem identificar diferenças em grupos musculares e condições em determinadas tarefas com a cadeira de rodas, além de caracterizar o padrão de atividade muscular e correlacionar com diferentes configurações de cadeira de rodas (Louis; Gorce, 2010). Apesar destas contribuições, ainda existem lacunas no conhecimento acerca da correlação entre a atividade eletromiográfica e a força aplicada nos aros propulsores em diferentes atividades com a cadeira de rodas. Tal correlação permite uma visão mais completa das ações do usuário e a resultante de força nas rodas.

Ao analisar diferentes tarefas de locomoção com a cadeira de rodas, pode-se deduzir que a propulsão em uma superfície plana e lisa e subir acives são situações diferentes em termos de demanda biomecânica e forças aplicadas às rodas. No entanto, a maneira com a qual os dados biomecânicos e cinéticos são correlacionados em diferentes níveis de força de propulsão ainda não é conhecido. Este conhecimento pode ser usado para classificar níveis de intensidade de propulsão que, em última análise, podem ser utilizados para associar as ações e manobras em cadeira de rodas com o risco de lesão.

Este estudo teve como objetivo uma investigação preliminar da atividade dos músculos dos membros superiores a níveis crescentes de forças de propulsão, de forma a caracterizar e classificar diferentes movimentos em cadeira de rodas de acordo com os níveis de intensidade de propulsão. Espera-se que o presente estudo contribua para a compreensão da relação entre o tipo de movimento realizado e a intensidade de ativação muscular. Em última análise, este conhecimento pode contribuir com abordagens ergonômicas ao oferecer parâmetros de segurança e sobrecarga dos músculos dos membros superiores.

2 Materiais e métodos

Trata-se de um estudo transversal de avaliação, a partir do qual apresentam-se resultados preliminares de análise da demanda de trabalho muscular em diferentes atividades de mobilidade em cadeira de rodas, por meio do percentual de atividade muscular em relação à contração máxima durante força propulsora estática máxima.

2.1 Participantes

Três sujeitos do sexo masculino (média de idade de $30,6 \pm 3,2$ anos, altura $1,75 \pm 0,03$ m e massa $71,0 \pm 9,5$ kg), sem deficiência e sem queixas de dor ou histórico de lesão nos membros superiores, participaram do estudo. Os participantes foram informados dos objetivos e procedimentos do estudo, e ao concordarem em participar assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido. Os procedimentos deste

estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da UNESP (Processo 800.500).

2.2 Materiais

Para os testes de torque máximo estacionário e mobilidade em diferentes trajetórias, foi utilizada uma cadeira de rodas manual com quadro dobrável (modelo AVD Alumínio Reclinável, ORTOBRÁS). A cadeira de rodas foi posicionada sobre uma plataforma, com cada roda traseira posicionada sobre um par de rolos metálicos compostos por um conjunto de rolamentos para o posicionamento estático da cadeira de rodas (Figura 1). A configuração da plataforma permite ajustes para receber cadeiras de rodas de diferentes larguras e diferentes tamanhos de rodas, e seu desenvolvimento foi descrito em um estudo anterior (Bertolaccini et al., 2016).

Figura 1: Plataforma para posicionamento estático da cadeira de rodas.



Fonte: autores.

Na plataforma, foi instalado um dinamômetro digital (AFG 500 N – McMesin Ltd., UK) conectado a um transdutor estático de torque (STT- McMesin Ltd., UK) alinhado ao eixo da roda traseira esquerda, com uma capacidade máxima de 500 N e uma precisão de 0.1% foi utilizado para medir o torque propulsor máximo e indicar os valores durante a coleta de níveis crescentes de torque propulsor (figura 2).

Figura 2: Dinamômetro Digital (AFG) instalado com o transdutor de torque estático.



Fonte: autores.

Com o objetivo de coletar dados de atividade elétrica dos músculos, foi utilizado o sistema CAPTIV (TEAErgo, França) de eletromiografia de superfície (sEMG), com quatro sensores sem fio (T-Sens) e um módulo data logger, para gravar os sinais eletromiográficos. Eletrodos trídodos de superfície auto-adesivos T3402M (Thought Technology, Montreal, Canada) foram colocados no membro superior esquerdo sobre os músculos peitoral maior, tríceps braquial, deltoide anterior e bíceps braquial, seguindo as instruções do SENIAM Project (www.seniam.org). Todos os dados de EMG foram coletados a uma frequência de 2048Hz, e o valor de RMS foi calculado e transmitido pelo módulo T-Sens a uma frequência de 128 Hz. A análise dos dados eletromiográficos foi realizada com o software CAPTIV L-7000 (TEA Ergo, França).

2.3 Métodos

Com os sujeitos sentados na cadeira de rodas sobre a plataforma estacionária, estes foram orientados a aplicar forma propulsora máxima nas rodas durante cinco segundos, para registro do torque máximo e atividade muscular máxima. Após cinquenta segundos de repouso, os sujeitos foram solicitados a aplicar aproximadamente 10% do torque máximo por um período de cinco segundos, tendo orientação em

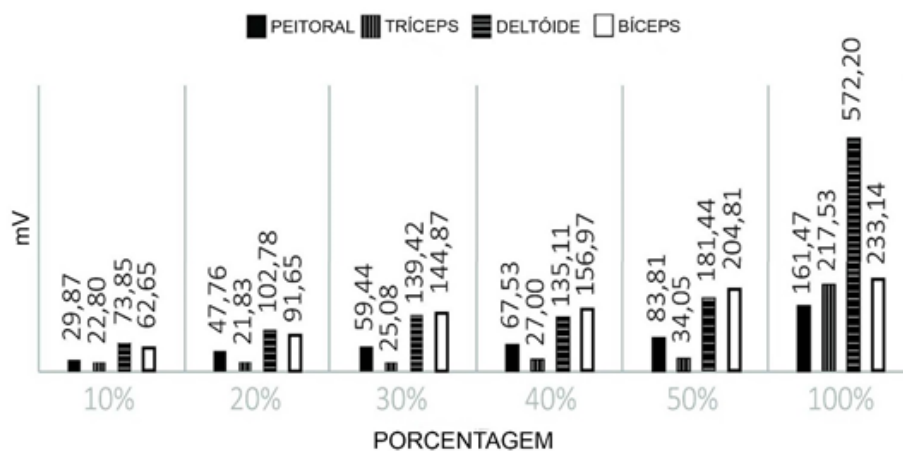
tempo real da força aplicada a partir do visor do dinamômetro. Da mesma forma, foram coletados por cinco segundos dados de EMG a 20%, 30%, 40% e 50% do torque propulsor máximo, com 50 segundos de intervalo entre cada nível. Para aplicação das forças propulsoras, os sujeitos foram orientados a posicionar as mãos na parte mais alta das rodas em todas as tentativas.

Em uma segunda parte da pesquisa, os sujeitos foram solicitados a locomover-se com a cadeira de rodas em diferentes situações: (1) trajetória retilínea a uma velocidade auto-selecionada e confortável em uma superfície plana (sete impulsões); (2) trajetória retilínea o mais rápido possível (sete impulsões); (3) subida em rampa de aproximadamente 20° de inclinação; (4) descida da rampa de aproximadamente 20° de inclinação. Dados de EMG de superfície dos músculos peitoral maior, deltoide anterior, bíceps e tríceps braquial foram registrados durante todas as atividades, com um minuto de intervalo de repouso entre as tarefas. Para a análise dos dados, foram descartados os primeiras e últimas impulsões de todas as tentativas. Por se tratar de um estudo preliminar com apenas três sujeitos, os resultados são apresentados de forma descritiva, com a média de atividade eletromiográfica a diferentes níveis de torque propulsor estático e durante as quatro tarefas de mobilidade em cadeira de rodas.

3 Resultados

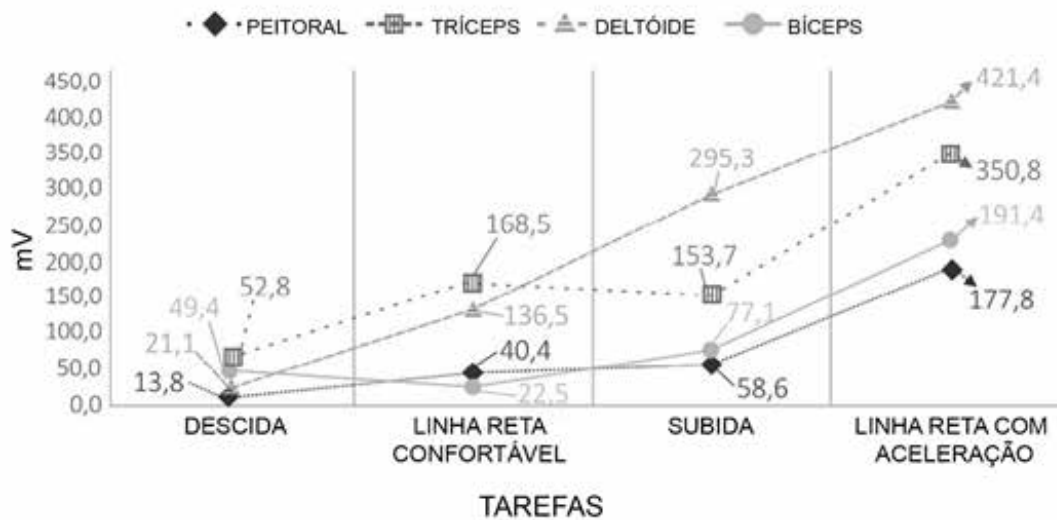
Em geral, foi encontrado um aumento do padrão de ativação muscular proporcional aos níveis de torque propulsor estático (Figura 3). A análise individual de cada músculo nas tarefas de mobilidade mostrou que a descida de rampa exigiu menor ativação muscular a propulsão em linha reta, exceto para o bíceps, possivelmente devido à necessidade de co-ativação dos músculos que agem no cotovelo para desacelerar a cadeira na descida (Figure 4).

Figura 3: Níveis de intensidade da propulsão da atividade elétrica



Fonte: autores

Figura 4: Média da atividade elétrica muscular em cada tarefa.



Fonte: autores

Lemaire et al. (2010) exploraram as estratégias de propulsão manual de cadeira de rodas para subida e descida de rampa, e encontrou que, de forma geral, as descidas são as manobras mais lentas devido à reduzida confiança em controlar a cadeira de rodas. Sabick e Kotajarvi (2004), utilizando o método WPSR, reportaram momentos de forças maiores que 30% da capacidade do usuário em descidas, implicando em sobrecarga nas articulações dos membros superiores.

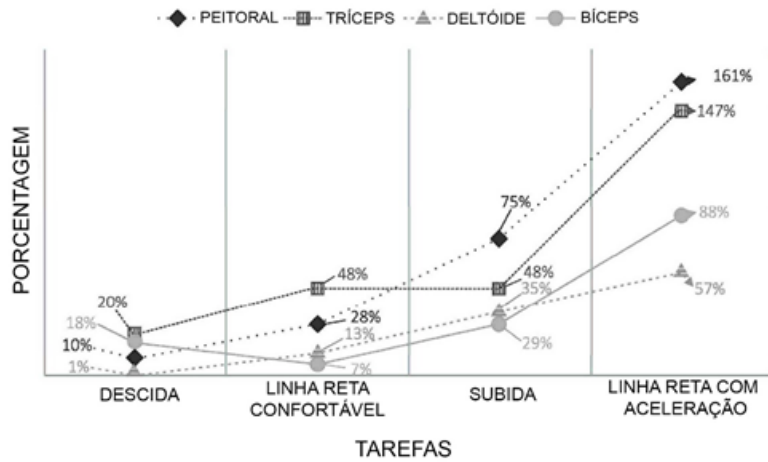
A propulsão da cadeira de rodas em velocidade confortável sobre uma superfície plana exigiu menor atividade muscular do que a tarefa de subir a rampa, exceto para o músculo tríceps (Figura 4). Possivelmente, a frequência de toque é maior e o ângulo de toque é menor ao subir uma rampa, considerando a tendência da cadeira em mover-se para trás, ainda que este estudo não avaliou a cinemática dos membros superiores. Na propulsão em linha reta a velocidade máxima, foi encontrado maior ativação dos músculos em comparação às outras situações investigadas (Figura 4).

Por meio do monitoramento da atividade de propulsão de cadeira de rodas, a literatura tem buscado investigar a relação de forças aplicadas às rodas e o risco de desenvolvimento de lesões nos membros superiores. Estudos indicam que menores frequências de propulsão são menos lesivas aos membros superiores do que elevadas frequências (Boninger et al., 1999; Boninger et al., 2000; Mercer et al., 2006). Menores frequências de toque são relacionadas a ângulos de impulsão mais longos, desta forma reduzindo o número de propulsões necessárias por unidade de tempo (Lenton et al., 2013). Isto traz implicações ergonômicas para o design e prescrição de cadeira de rodas, uma vez que uma cadeira com configuração ideal (em especial relacionada ao posicionamento do eixo da roda traseira) permite ao usuário alcançar a melhor relação entre ângulo e frequência de toque.

Diretrizes para preservação da função dos membros superiores após lesão da medula espinhal (Paralyzed veterans of america consortium for spinal cord medicine, 2005) apontam que a aplicação de elevadas forças é geralmente a maior causa de lesão em usuários de cadeira de rodas, e recomendam que o usuário realize impulsões

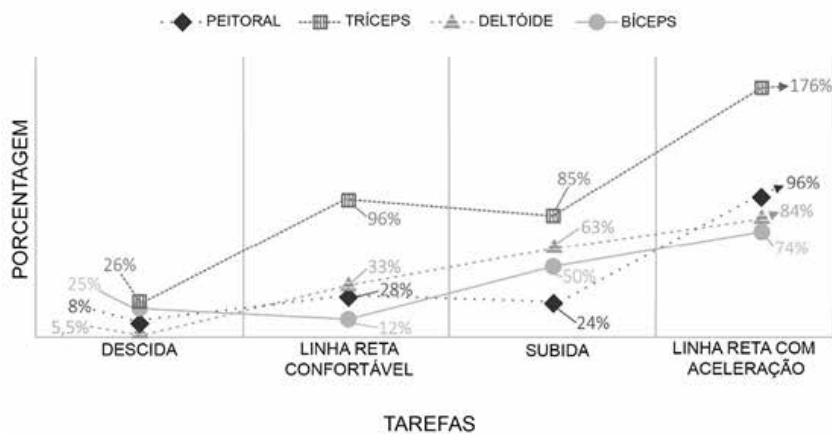
longas e leves, com o objetivo de minimizar a exposição aos riscos de sobrecarga (Figure 5, 6, 7).

Figura 5: Porcentagem usada na atividade elétrica muscular – Sujeito 1.



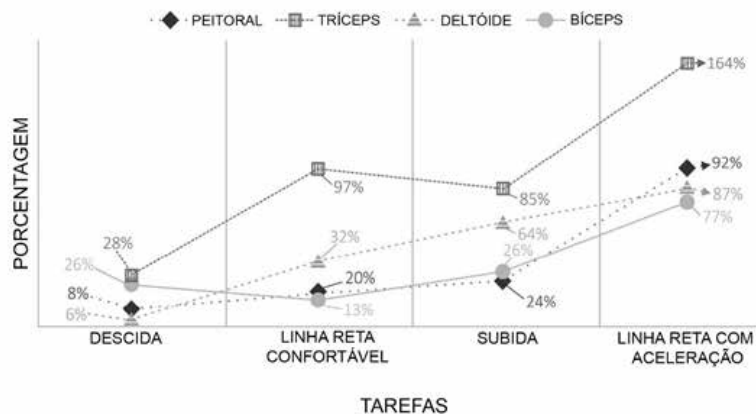
Fonte: autores

Figura 6: Porcentagem usada na atividade elétrica muscular – Sujeito 2.



Fonte: autores

Porcentagem usada na atividade elétrica muscular – Sujeito 3.



Fonte: autores

Este estudo apresenta uma caracterização, sob a perspectiva biomecânica, de diferentes tarefas de mobilidade em cadeira de rodas. Igualmente, este estudo apresenta uma proposta de método para analisar a demanda sobre os membros superiores em uma amostra de tarefas diárias de mobilidade em cadeira de rodas. Contribui, desta forma, para a pesquisa nas áreas de ergonomia, biomecânica e tecnologia assistiva. Entretanto, como um estudo preliminar, possui limitações que precisam ser apontadas, tais como o reduzido tamanho da amostra e o fato desta não ser composta por usuários de cadeira de rodas. Portanto, estudos futuros com maior número de sujeitos e com usuários reais pode contribuir para a confirmação dos achados e validação do método proposto, assim como a correlação entre os dados biomecânicos e percepção de esforço dos usuários na realização de tarefas com a cadeira de rodas.

4 Conclusão

Esse estudo apresentou uma análise preliminar da atividade eletromiográfica dos músculos dos membros superiores, durante quatro movimentos básicos com uma cadeira de rodas, e como isso é correlacionado com os níveis de propulsão do torque. Foi encontrado que a demanda biomecânica sobre os membros superiores é muito afetada pela situação de mobilidade. Propulsionar a cadeira de rodas o mais rápido possível e durante uma subida de rampa são duas das mais desafiadoras situações na mobilidade diária, e de acordo com os resultados aqui encontrados, a demanda sobre os músculos dos membros superiores durante tais situações alcançaram até duas vezes a demanda durante a propulsão em velocidade confortável em uma superfície plana. Adicionalmente, esse estudo demonstrou que a demanda sobre os membros superiores durante a propulsão manual pode ser analisada em termos do nível correspondente de torque da propulsão estática e da porcentagem do torque máximo da propulsão. Em última análise, essa abordagem poderia ser utilizada para analisar as manobras em cadeiras de rodas em termos de segurança ergonômica e riscos de doenças a partir de uma perspectiva biomecânica. Esse conhecimento pode beneficiar o entendimento da relação do deslocamento e da intensidade do trabalho muscular. Esses dados podem providenciar parâmetros de segurança ergonômica para prevenir doenças musculoesqueléticas relacionadas ao uso prolongado de cadeiras de rodas.

REFERÊNCIAS

GROOT, S., VEGTER, R.J.K., VUIJK, C., VAN, D.F., PLAGGENMARSCH, C., SLOOTS, M., STOLWIJK-SWÜSTE, J., WOLDRING, F., TEPPER, M., VAN DER WOUDE, L.H.V. Wheel-i: development of a wheelchair propulsion laboratory for rehabilitation. *Journal of rehabilitation medicine*, v. 46, n. 6, p. 493-503, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2340/16501977-1812>

BONINGER, M.L., IMPINK, B.G., COOPER, R.A., KOONTZ, A.M. Relation between median and ulnar nerve function and wrist kinematics during wheelchair propulsion. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*, v.85, p.1141-1145, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.11.016>

MORROW, M., HURD, W.J., KAUFMAN, K.R., AN, K.N. Shoulder demands in manual wheelchair users across a spectrum of activities. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, v. 20, n. 1, p. 61-67, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2009.02.001>

MIYAHARA, M., SLEIVERT, G.G., GERRARD, D.F. The relationship of strength and muscle balance to shoulder pain and impingement syndrome in elite quadriplegic wheelchair rugby players. *International Journal of Sports Medicine*, v.19, n.3, p. 210-214, 1998. DOI:10.1055/s-2007-971906

SUBBARAO, J.V., KLOPFSTEIN, J., TURPIN, R. Prevalence and impact of wrist and shoulder pain in patients with spinal cord injury. *The journal of spinal cord medicine*, v. 18, n. 1, p. 9-13, 1995. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10790268.1995.11719374>

MEDOLA, F.O., SPRIGLE, S. Evaluation of Rotational Inertia of Manual Wheelchair: implications for ergonomic design. *Revista D.: Design, Educação, Sociedade e Sustentabilidade*. v. 6, n. 2, p. 37-54, 2014.

SABICK, M.B., KOTAJARVI, B.R., AN, K.N. A new method to quantify demand on the upper extremity during manual wheelchair propulsion. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, v. 85, n. 7, p. 1151-1159, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.10.024>

GAGNON, D., BABINEAU, A.C., CHAMPAGNE, A., DESROCHES, G., AISSAOUI, R. Trunk and shoulder kinematic and kinetic and electromyographic adaptations to slope increase during motorized treadmill propulsion among manual wheelchair users with a spinal cord injury. *BioMed research international*, v., 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/636319>

LOUIS, N., GORCE, P. Surface electromyography activity of upper limb muscle during wheelchair propulsion: Influence of wheelchair configuration. *Clinical Biomechanics*, v. 25, n. 9, p. 879-885, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2010.07.002>

BERTOLACCINI, G.S., NAKAJIMA, R.K., CARVALHO FILHO, I.F., NEVES, E.P., PASCHOARELLI, L.C, MEDOLA, F.O. Projeto e construção de um protótipo de ergômetro para testes de mobilidade em cadeira de rodas. In: I Congresso Brasileiro de Pesquisa & Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva, Curitiba, Paraná, anais de eventos, 2016

LEMAIRE, E.D., O'NEILL, P.A., DESROSIERS, M.M., ROBERTSON, D.G. Wheelchair ramp navigation in snow and ice-grit conditions. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, v. 91, n. 10, p. 1516-1523, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2010.07.215>

BONINGER, M.L., COOPER, R.A., BALDWIN, M.A., SHIMADA, S.D., KOONTZ, A. Wheelchair pushrim kinetics: body weight and median nerve function *Arch Phys Med*

Rehab v. 80 p. 910- 915, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(99\)90082-5](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(99)90082-5)
BONINGER, M.L., COOPER, R.A., BALDWIN, M.A., SHIMADA, S.D., KOONTZ, A., CHAN, L. Manual wheelchair pushrim biomechanics and axle position Arch Phys Med Rehab v. 81, p. 608-613, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(00\)90043-1](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(00)90043-1)

MERCER, J.L., BONINGER, M., KOONTZ, A., REN, D., DYSON-HUDSON, T., COOPER, R. Shoulder joint kinetics and pathology in manual wheelchair users. Clin Biomech v. 21, p. 781-789, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2006.04.010>

LENTON, J.P., VAN DER WOUDE, L.H.V., FOWLER, N.E., NICHOLSON, G., TOL-FREY, K., GOOSEY-TOLFREY, V.L. Hand-rim forces and gross mechanical efficiency at various frequencies of wheelchair propulsion. International journal of sports medicine, v. 34, n. 02, p. 158-164, 2013. DOI: 10.1055/s-0032-1311650

PARALYZED VETERANS OF AMERICA CONSORTIUM FOR SPINAL CORD MEDICINE. Preservation of upper limb function following spinal cord injury: a clinical practice guideline for health-care professionals. The journal of spinal cord medicine, v. 28, n. 5, p. 434, 2005. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1808273/>. [Acessado em: 20 de Julho de 2017].

MEDOLA, F.O., PISCONTI, F., ELUI, V.M.C., SANTANA, C.S. Dolor en individuos con lesión de la médula espinal: un estudio descriptivo. Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesioterapia (Ed. Impresa), v. 13, p. 58-62, 2010.

LANUTTI, J.N.L., MEDOLA, F.O., GONÇALVES, D.D., DA SILVA, L.M., NICHOLL, A.R.J., PASCHOARELLI, L.C., The Significance of Manual Wheelchairs: A Comparative Study on Male and Female Users. Procedia Manufacturing, v. 3, p. 6079-6085, 2015.

BERTOLACCINI, G. S., SANDNES, F.E., CARVALHO FILHO, I.F.P., PASCHOARELLI, L.C., MEDOLA, F.O. . A Descriptive Study on the Influence of Wheelchair Design and Movement Trajectory on the Upper Limbs: Joint Angles. In: Rebelo, F.; Soares, M.. (Org.). Advances in Ergonomics in Design. AHFE 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing. 1ed.: Springer, 2017, v. 588, p. 645-651.

LAHR, G. J. G., MEDOLA, F.O., SANDES, F.E., ELUI, V.M.C., FORTULAN, C. A. Servomotor Assistance in the Improvement of Manual Wheelchair Mobility. In: Peter Cudd; Luc de Witte. (Org.). HARNESSING THE POWER OF TECHNOLOGY TO IMPROVE LIVES. (Studies in Health Technology and Informatics). 1ed.Amsterdam: IOS Press, 2017, v. 242, p. 786-792.

MEDOLA, F.O., PURQUERIO, B.M., ELUI, VALERIA M.C., FORTULAN, C.A. Conceptual project of a servo-controlled power-assisted wheelchair. In: 2014 5th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (Bio-Rob), 2014, Sao Paulo. 5th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, 2014. p. 450.

MEDOLA, F.O., PASCHOARELLI, L.C., SILVA, D.C., ELUI, V.M.C., FORTULAN, C. A. Pressure on hands during manual wheelchair propulsion: a comparative study of two types of handrim. In: European Seating Symposium, 2011, Dublin. European Seating Symposium 2011, 2011. p. 63-65.

MEDOLA, F.O., BUSTO, R.M., MARÇAL, A.F., ACHOUR JUNIOR, A., DOURADO, A.C. The sport on quality of life of individuals with spinal cord injury: a case series. Revista Brasileira de Medicina do Esporte, v.17 n. 4, p.254-256, 2011.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (Processo 16/05026-6), CAPES e CNPQ (Processo 458740/2013-6 e 133116/2016-6) pelo apoio financeiro.