

Tecnologia para classificação funcional de atletas de rugby em cadeira de rodas: mecanomiografia do desvio radial de punho

Santos, Ketlin Mikaela Medeiros^{*1}; Santos, Elgison da Luz²; Fernandes, Maria de Fátima³; Santos, Rafael Felipe Fernandes dos⁴; Vara, Gabriela⁵; Petrikic, Djovana⁶; Nogueira, Guilherme Nunes⁷; Nohama, Percy⁸

1 – Programa de Pós Graduação em Tecnologia em Saúde, PUCPR, ketlin.medeiros@hotmail.com

2 – ESSU (Escola Superior de Saúde Única) - Uninter, elgisantos20@gmail.com

3 – ESSU (Escola Superior de Saúde Única) - Uninter, mfatimafv@hotmail.com.br

4 – Programa de Pós Graduação em Tecnologia em Saúde, PUCPR, rafael_ffs@hotmail.com

5 – Programa de Pós Graduação em Tecnologia em Saúde, PUCPR, gabivsipoli@hotmail.com.br

6 – Graduação em Engenharia Biomédica, PUCPR, djovanapetrikic@gmail.com

7 – Programa de Pós Graduação em Tecnologia em Saúde, PUCPR, nogueira.g@pucpr.br

8 – Programa de Pós Graduação em Tecnologia em Saúde, PUCPR, percy.nohama@pucpr.br

DOI 10.52050/9788579177163-34

RESUMO

A classificação funcional no esporte adaptado ainda depende de avaliações subjetivas, o que pode comprometer a equidade competitiva. Este estudo investigou o uso da mecanomiografia (MMG) como ferramenta objetiva para apoiar esse processo em atletas de rugby em cadeira de rodas. Sinais de vibração muscular foram coletados durante o desvio radial do punho e comparados entre diferentes classes funcionais. Apesar da ausência de diferenças estatísticas significativas, observaram-se padrões distintos de ativação neuromuscular. Conclui-se que a MMG apresenta potencial como tecnologia assistiva emergente para subsidiar classificações mais justas, aplicáveis às áreas da engenharia, saúde e esporte adaptado.

Palavras-chave: tecnologia assistiva, mecanomiografia, classificação funcional.

ABSTRACT

Functional classification in adaptive sports still relies heavily on subjective assessments, potentially compromising competitive equity. This study investigated the use of mechanomyography (MMG) as an objective tool to support the

classification process in wheelchair rugby athletes. Muscle vibration signals were collected during wrist radial deviation and compared across different functional classes. Although statistically significant differences were not observed, distinct neuromuscular activation patterns emerged. These findings suggest that MMG holds promise as an emerging assistive technology to inform fairer classification systems applicable to engineering, health sciences, and adaptive sports.

Keywords: assistive technology, mechanomyography, functional classification.

1. INTRODUÇÃO

A prática esportiva voltada para indivíduos que tiveram lesão medular (LM), possui implicações que favorecem a recuperação funcional (MARTIN GINIS KA *et al.*, 2012). Caracteriza-se como uma alternativa terapêutica, sendo ela uma prática isolada ou de competição, como, por exemplo, em modalidades esportivas adaptadas que são adequadas de acordo com a função preservada dos atletas (GASPAR R *et al.*, 2019).

A lesão medular é definida como um evento traumático ou não que afeta a medula espinhal, repercutindo em déficits sensoriais, motores e autonômicos reduzindo a independência e a qualidade de vida (QV) (HEARN JH *et al.*, 2020). É um evento que muda a vida, resultando em paralisia, atividade física reduzida, morbidade e mortalidade aceleradas (FLACK *et al.*, 2022)

Em 2020, o National Spinal Cord Injury Statistical Center (NSCISC) relatou 294.000 pessoas atualmente vivendo com LM (NATIONAL SPINAL CORD INJURY STATISTICAL CENTER, 2020). Em todo o mundo, isso representa 2 a 3 milhões de pessoas, predominantemente adultos jovens, vivendo com deficiência relacionada à LM (ANJUM A *et al.*, 2020).

A desregulação interligada de órgãos corporais cardiometabólicos, musculoesqueléticos e endócrinos que ocorre rapidamente após a imobilização ocasionada por LM contribui para a função cardiorrespiratória prejudicada, osteoporose, fraturas, mudanças na composição corporal, resistência à insulina, déficits de hormônios anabólicos, disfunção autonômica e inflamação crônica (COWAN H *et al.*, 2020). Sintomas depressivos, ansiedade e dor crônica contribuem ainda mais para a má qualidade de vida entre os indivíduos que vivem com uma lesão medular (LI *et al.*, 2020).

Uma melhor compreensão dos mecanismos fisiopatológicos subjacentes à recuperação após a LM abriu novas perspectivas para a reabilitação (AHUJA CS *et al.*, 2017). A recuperação espontânea da função motora após lesões incompletas ou completas é geralmente parcial e decorre de processos de plasticidade cerebral e espinhal, envolvendo circuitos poupados e danificados (KIRSHBLUM S *et al.*, 2021).

Em um ano após a lesão, 70% dos indivíduos com LM completa em nível cervical recuperaram um nível motor, mas apenas 30% recuperaram dois ou mais níveis motores (STEEVES *et al.*, 2011). A taxa de recuperação é menor após a conclusão em comparação com a LM incompleta. A maioria dos lesionados permanece sobremaneira com déficits significativos relacionados à LM (DITUNNO *et al.*, 2000).

As consequências que a LM apresenta, explicam por que esse tipo de lesão pode ser mental e fisicamente debilitante para as pessoas afetadas (LI Y *et al.*, 2020). O aumento da prevalência não só afeta o número de vítimas, mas também coloca mais pressão sobre o sistema de saúde (ANJUM A *et al.*, 2020).

Apesar dos seus efeitos deletérios sobre a saúde e o bem-estar do indivíduo, atualmente não existem tratamentos eficazes para a LM (GAO L *et al.*, 2020). As intervenções terapêuticas estabelecidas para LM, como estimulação elétrica funcional durante o ciclismo em membros inferiores (FES-MMII) e exercícios ergométricos de membros superiores (MMSS) com ou sem estimulação, são viáveis, mas mostram eficácia limitada quando administrados isoladamente e tiveram impacto limitado na função geral e resultados de saúde (SANDROW-FEINBERG *et al.*, 2015).

A inclusão de indivíduos acometidos por LM no esporte de rendimento é dependente de avaliação, denominada como classificação funcional (CF) (BHAMBHANI Y *et al.*, 2010). O processo de CF tem por objetivo avaliar a viabilidade de participação dos candidatos e a definição da categoria e subcategoria do atleta para a respectiva modalidade esportiva, com a finalidade de adequar o nível de equidade entre os participantes das equipes (TWEEDY e VANLANDEWIJCK, 2011).

Pesquisas realizadas com indivíduos hígidos e com LM vem mostrando viabilidade da mecanomiografia (MMG) para avaliação de atividade muscular (KRUEGER-BECK *et al.*, 2010, SCHEEREN *et al.*, 2010, MOHAMAD *et al.*, 2017).

A MMG é um procedimento que permite captar vibrações do músculo esquelético, de maneira não invasiva e indolor (IBITOYE *et al.*, 2014). A técnica permite acompanhamento instantâneo e quantitativo do trabalho muscular, com recursos que verificam ativação das unidades motoras que se repercutem em vibrações musculares (MEAGHER *et al.*, 2020).

Assim, o uso de MMG no contexto esportivo poderá proporcionar maior fidedignidade aos resultados do processo de classificação funcional, promovendo uma competição justa e assegurando que as modalidades esportivas desempenhem um papel fundamental na reabilitação e recuperação de atletas com lesão medular. Ao fornecer dados quantitativos, essas tecnologias

contribuem para decisões mais assertivas, reduzindo a subjetividade e assegurando maior equidade entre as equipes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os voluntários deste estudo foram atletas de *rugby* em cadeira de rodas que atenderam aos critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos e voluntários para o grupo controle sem lesão medular. Os critérios de inclusão para os atletas contemplaram indivíduos com lesão medular (LM) em nível cervical, com comprometimento funcional dos membros superiores e pertencentes a distintas classes funcionais do *rugby* em cadeira de rodas. Por outro lado, os critérios de exclusão abrangeram atletas com condições que pudessem comprometer a avaliação funcional ou com lesões cutâneas que impedissem o posicionamento adequado dos sensores durante a coleta de dados. A amostragem foi do tipo não probabilística, por conveniência, considerando a disponibilidade dos voluntários. A amostra foi composta por dois grupos: (i) 84 atletas de *rugby* em cadeira de rodas, todos com envolvimento regular em treinamentos e classificados funcionalmente conforme os critérios do esporte; e (ii) 20 voluntários hígidos, sem histórico de comprometimentos neuromusculares, que integraram o grupo controle. A amostra dos atletas foi predominantemente composta por indivíduos do sexo masculino (89%), sendo 75 homens e 9 mulheres (11%), o que reflete a predominância masculina na modalidade.

A inclusão de um grupo controle composto por voluntários hígidos teve como objetivo permitir a comparação dos padrões de ativação neuromuscular entre indivíduos com e sem lesão medular, favorecendo assim a análise da sensibilidade da MMG em discriminar diferentes condições funcionais.

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), sob parecer nº 7.119.938. Todos os voluntários assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, em conformidade com os princípios éticos.

No sistema de classificação funcional do *rugby* em cadeira de rodas, as classes variam de

0.5 a 3.5 pontos, sendo 0,5 menores pontuações indicam maior comprometimento funcional. Atletas da classe 2, por exemplo, apresentam moderada limitação nos membros superiores, mas ainda conseguem realizar movimentos funcionais com certo controle, o que justifica sua predominância entre os participantes.

A classe funcional mais representada entre os atletas foi a classe 2 (32%; n = 27), seguida pela classe 0.5 (21%; n = 18), classe 2.5 (18%; n = 15) e classe 1 (17%;

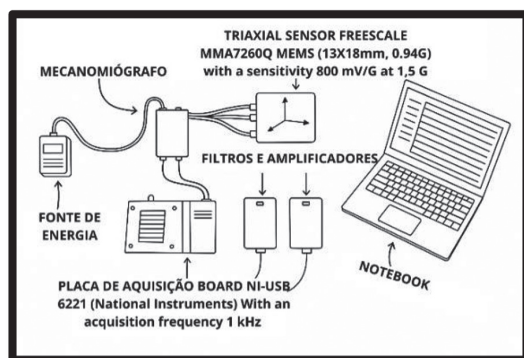
n = 14). As classes com menor representação foram a 1,5 (8%; n = 7) e a 3 (4%; n = 3). No sistema de classificação funcional, menores valores indicam maior grau de comprometimento físico; portanto, atletas da classe 0,5 apresentam maiores limitações, enquanto os da classe 3,0 possuem maior funcionalidade.

Essa distribuição evidencia a heterogeneidade funcional dos atletas, fator essencial para investigar a variabilidade da ativação muscular e do desempenho conforme o grau de comprometimento. Observa-se maior concentração de voluntários nas classes intermediárias, particularmente na classe 2,0, o que pode influenciar os resultados. Classes inferiores, como 0,5 e 1,0, concentram atletas com maior limitação funcional, o que pode impactar nas análises de força muscular.

A MMG foi utilizada como ferramenta não invasiva para registrar oscilações mecânicas associadas à contração muscular, possibilitando a análise da ativação neuromuscular em diferentes classes funcionais. Com o objetivo de garantir a precisão e a reprodutibilidade dos dados, foi implementado um protocolo experimental padronizado, especificamente desenvolvido para a aquisição de sinais MMG.

Para essa aquisição, utilizaram-se sensores triaxiais Freescale MMA7260Q (MEMs; 13x18 mm; 0,94 g), com sensibilidade de 800 mV/G em 1,5 G, acoplados a uma placa de aquisição NI-USB 6221 (National Instruments), configurada com frequência de amostragem de 1 kHz (figura 1). O sistema, desenvolvido pela equipe do Laboratório de Engenharia em Reabilitação (LER-PUCPR), opera com sinais em milivolts (mV) e já foi empregado em estudos anteriores. A preparação dos voluntários consistiu na obtenção do consentimento, preenchimento da anamnese e posicionamento adequado para coleta.

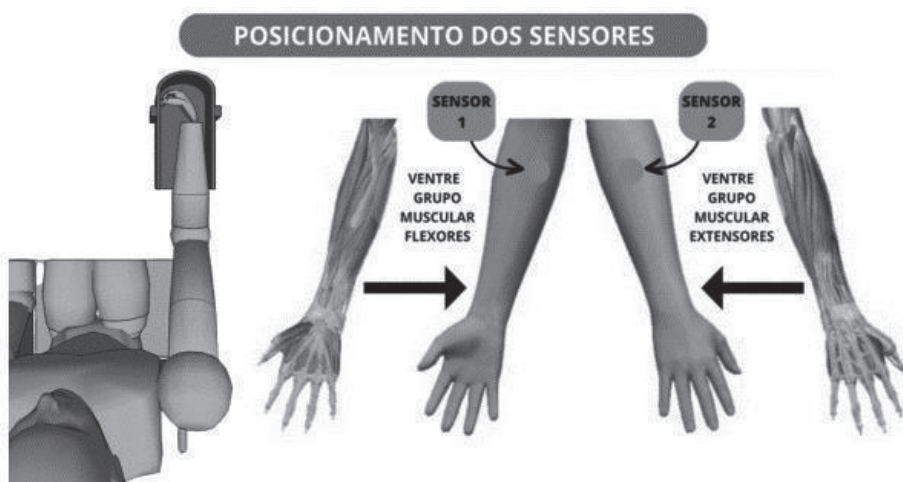
Figura 01 - Sistema de aquisição de sinais MMG



Os atletas permaneceram em suas cadeiras de rodas, enquanto os voluntários hígidos foram posicionados em cadeiras convencionais com apoio ajustável, em

ambos os casos, os voluntários mantiveram o ombro em rotação neutra, cotovelo a 90° e antebraço apoiado em uma estrutura ajustável, garantindo padronização do posicionamento para a coleta dos sinais. Os sensores foram fixados sobre a região do ventre muscular dos músculos flexores e extensores do punho, com base em avaliação anatômica palpável. O Sensor 1 foi posicionado sobre os músculos flexores, e o Sensor 2 sobre os extensores (figura 2). Os voluntários realizaram contrações isométricas voluntárias por 12 s contra resistência fixa, seguindo a ordem: flexão, extensão, desvio ulnar e radial. Essa ordem foi definida com base na alternância de músculos agonistas e antagonistas do punho, visando garantir ativação controlada de diferentes grupos musculares. A seleção dos movimentos também reflete ações motoras funcionais relevantes para o desempenho no rugby em cadeira de rodas.

Figura 02 - Posicionamento Sensores



O processamento dos sinais de MMG foi realizado no MATLAB® R2023a, contemplando a análise individual dos eixos (X, Y, Z) e do módulo tridimensional. Inicialmente, vetores vazios foram criados para armazenar os valores de raiz média quadrática (RMS) e Frequência Mediana (FM) dos sinais captados pelos sensores 1 e 2. Os sinais foram importados de arquivos.edf, passando por um filtro passa-baixa (50 Hz) para remoção de ruídos de alta frequência e um filtro *notch* (60 Hz) para eliminação de interferências da rede elétrica. Após filtragem, os sinais foram centralizados em zero e segmentados entre as amostras 3001 e 5000 (correspondentes a 3–5 s) para análise do platô de contração. O valor RMS foi calculado para cada eixo e sensor, representando a magnitude média da vibração muscular, sendo um indicador da ativação muscular e do recrutamento de unidades motoras. Já a FM, analisada no domínio da frequência, permitiu

inferir alterações na taxa de disparo das unidades motoras. As janelas temporais foram manualmente selecionadas para excluir transitórios iniciais e finais. A análise foi mantida em milivolts (mV), unidade de saída original do sistema, não sendo convertida para G, embora tal conversão seja possível conforme equação descrita por Santos (SANTOS *et. al.*, 2024).

A análise estatística foi realizada no software JASP®. Para comparação entre as classes funcionais, foram utilizados dois métodos: ANOVA, para variáveis com distribuição normal e homocedasticidade, e o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, para dados que não atenderam a esses pressupostos. Nos casos em que os pressupostos da ANOVA foram atendidos, aplicou-se o teste post hoc de Tukey para comparações múltiplas. Quando se utilizou o teste de Kruskal-Wallis, o teste post hoc de Dunn foi empregado para identificar diferenças específicas entre as classes funcionais, minimizando o risco de erro do tipo I. Esse procedimento possibilitou a identificação detalhada das diferenças de ativação muscular entre os grupos analisados.

A pesquisa foi submetida à área temática “Tecnologia Assistiva emergentes e com IA” por investigar a aplicação da MMG como uma tecnologia não invasiva e emergente no campo da avaliação funcional muscular. Embora o sistema utilizado não integre inteligência artificial, trata-se de um recurso inovador com potencial para contribuir significativamente com os processos de classificação funcional no esporte adaptado, integrando diretamente os princípios da tecnologia assistiva voltada à promoção da equidade e à otimização de recursos para avaliação funcional.

3. RESULTADOS

Nesta seção, apresentam-se os resultados decorrentes da análise dos dados coletados junto aos voluntários que compuseram a amostra da pesquisa, durante a coleta mecanomiográfica (MMG) com atletas de *rugby* em cadeira de rodas, comparando-se as diferentes classes funcionais e grupo controle.

A análise de variância (tabela 1) para o desvio radial mostrou um valor de F de 3,255 e um p de 0,006, indicando que há diferença estatisticamente significativa entre as classes funcionais e o grupo hígido (HG).

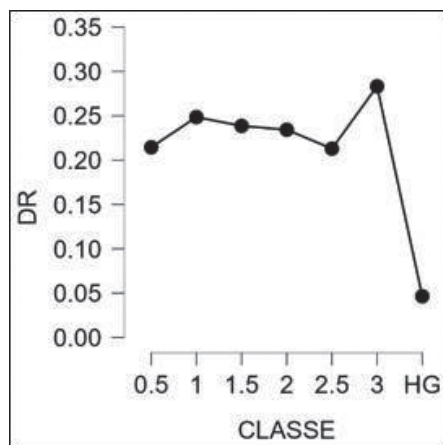
Tabela 01 - ANOVA do sinal de MMG do Desvio Radial entre Atletas

ANOVA - DESVIO RADIAL					
Casos	Soma dos quadrados	gl	Média Quadrática	F	p
CLASSE	0,121	6	0,020	3,255	0,006
Resíduos	0,97	80	0,006		

Nota. Soma dos quadrados Tipo III (gl = graus de liberdade; F= Estatística F da ANOVA (razão entre variância entre grupos e variância dentro dos grupos); p= Valor de significância estatística (p-valor).

O gráfico descritivo, figura 3, revela que, embora as médias das classes funcionais sejam relativamente próximas, a classe HG apresentou uma queda acentuada, destacando-se das demais classes. Isso sugere uma diferença clara entre os grupos funcionais e o grupo hígido na captação da vibração muscular.

Figura 03 - Gráfico do sinal de MMG do Desvio Radial em função das classes dos atletas



Os resultados obtidos indicam que as diferentes classes funcionais dos atletas de rugby em cadeira de rodas apresentaram comportamentos musculares distintos em comparação ao grupo hígido, com destaque para as classes 0,5 e 3,0, que mostraram diferenças significativas em relação ao grupo controle.

4. DISCUSSÃO

Diferenças significativas no comportamento do sinal mecanomiográfico foram observadas entre as classes funcionais, conforme evidenciado pelos resultados da ANOVA. Os dados indicam que as distintas classes funcionais dos atletas de *rugby* em cadeira de rodas apresentaram padrões musculares diferenciados em relação aos indivíduos hígidos, com destaque para as classes

0.5 e 3.0, que exibiram as maiores discrepâncias em comparação ao grupo controle.

Tais achados sugerem que essas variações podem estar associadas a fatores biomecânicos ou às especificidades da função muscular inerente a cada classe funcional. Atletas com maior comprometimento funcional mostraram maior variabilidade na ativação muscular, ao passo que o grupo controle apresentou os maiores coeficientes de variação, indicando maior dispersão dos dados. Isso sugere uma heterogeneidade mais acentuada na ativação muscular entre os indivíduos hígidos, possivelmente em decorrência da variabilidade no condicionamento muscular e nas estratégias de recrutamento neuromuscular. Em contraste, os atletas parecem ter desenvolvido estratégias neuromusculares compensatórias e mais uniformes, resultantes de treinamento e adaptação funcional.

Os maiores valores de ativação muscular observados nos atletas com menor grau de comprometimento (classe 3.0) reforçam a hipótese de que vias neuromusculares preservadas contribuem para respostas musculares mais eficientes e consistentes durante tarefas isométricas. Os resultados estatisticamente significativos entre as classes funcionais reforçam o potencial da MMG como método sensível para detecção de sutis diferenças na ativação muscular, oferecendo subsídios relevantes para avaliações funcionais objetivas no esporte adaptado.

Hipotetiza-se que os valores mais elevados de vibração muscular registrados nos atletas, em comparação aos indivíduos hígidos, estejam relacionados ao maior esforço necessário para sustentar o movimento isométrico resistido, possivelmente em função da maior exigência muscular nas condições avaliadas. As análises estatísticas também revelaram diferenças significativas entre as classes funcionais e o grupo controle em todos os movimentos e eixos analisados, o que reforça a consistência das alterações observadas e a robustez da análise, conferindo validade aos achados no contexto da avaliação biomecânica de atletas.

A análise da MMG entre atletas de diferentes classes funcionais e voluntários hígidos identificou diferenças significativas na ativação muscular, sobretudo nas classes 0,5 e 3,0. A classe 3,0 apresentou a maior ativação, enquanto o grupo controle apresentou valores significativamente inferiores e maior variabilidade. Esses achados sugerem que classes funcionais superiores têm respostas musculares mais estáveis, ao passo que graus mais acentuados de comprometimento neuromuscular tendem a modificar o padrão de recrutamento muscular.

Os resultados corroboram os achados de Vara (2022), que validaram a confiabilidade da MMG para detectar déficits motores, particularmente no eixo Z. Tal como no presente estudo, Vara observou valores RMS mais elevados em indivíduos hígidos, reforçando o potencial da MMG para discriminar condições neuromusculares distintas. Enquanto o estudo de Vara centrou-se nos músculos do tronco e pelve em condições estáticas, o presente trabalho estendeu a aplicação da MMG a movimentos funcionais dos membros superiores, essenciais para a funcionalidade esportiva, oferecendo novas perspectivas sobre o comportamento neuromuscular de atletas de rúgbi em cadeira de rodas. Ademais, o uso de avaliações repetidas e o cálculo do coeficiente de correlação intraclassa (ICC) por Vara fortalecem a confiabilidade da MMG — aspecto não contemplado nesta pesquisa, mas pertinente para investigações futuras.

As variações observadas na ativação muscular entre as classes funcionais provavelmente decorrem de diferenças no grau de comprometimento neuromuscular. Hoffmann em sua pesquisa relatou que indivíduos com maior déficit motor apresentam padrões de recrutamento alterados em razão da capacidade reduzida de geração de força e da coordenação neuromuscular limitada (HOFFMANN *et al.* 2006). Por outro lado, atletas da classe 3.0, apesar do tamanho amostral reduzido, possivelmente se beneficiam de vias motoras mais preservadas, o que favorece uma ativação mais eficiente.

Observou-se, ainda, que atletas com maior tempo de prática no *rugby* ou mais tempo transcorrido de lesão não apresentaram, de forma consistente, sinais de MMG mais estáveis ou distintos entre as classes. Isso sugere que, embora o treinamento e a adaptação crônica possam influenciar a função muscular, a gravidade do comprometimento neuromuscular inicial continua sendo o principal fator determinante dos perfis de ativação captados pela MMG em atletas de rúgbi em cadeira de rodas.

Apesar da MMG ter demonstrado capacidade para distinguir entre classes funcionais, sua aplicabilidade direta à classificação funcional não foi plenamente confirmada, visto que não foram observadas correlações diretas. Embora os parâmetros de MMG tenham apresentado diferenças estatísticas entre as classes, a sobreposição dos resultados indica que a vibração muscular isoladamente como testado pode não ter capturado todas as nuances funcionais necessárias para uma classificação precisa em contextos competitivos. Ainda assim, a MMG permanece como uma ferramenta promissora para avaliação da função neuromuscular em atletas de rúgbi em cadeira de rodas. Estudos adicionais são necessários para aprimorar os descritores da MMG, estabelecer limiares interpretativos e desenvolver uma escala classificatória compatível com os critérios de avaliação atualmente utilizados.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo confirmou que os sinais mecanomiográficos (MMG) diferem significativamente entre atletas de rúgbi em cadeira de rodas de distintas classes funcionais e indivíduos hígidos. Atletas com maior capacidade funcional mostraram padrões de ativação muscular mais elevados e estáveis. Esses achados sustentam o potencial da MMG como uma ferramenta objetiva complementar aos atuais métodos subjetivos de classificação funcional no esporte adaptado. Novas investigações são necessárias para o aprimoramento dos descritores do sinal MMG e para o estabelecimento de critérios classificatórios compatíveis com os padrões exigidos em contextos competitivos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao NAPI-TA – Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro e pelas bolsas concedidas, bem como à Associação Brasileira de Rugby em Cadeira de Rodas (ABRC) pela colaboração nas coletas de dados.

REFERÊNCIAS

- ANJUM, A.; YAZID, M. D.; FAUZI DAUD, M.; IDRIS, J.; NG, A. M. H.; SELVI NAICKER, A.; ISMAIL, O. H. R.;
- ATHI KUMAR, R. K.; LOKANATHAN, Y. Spinal cord injury: pathophysiology, multimolecular interactions, and underlying recovery mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 21, n. 20, p. 7533, 2020.
- BHAMBHANI, Y. et al. Boosting in athletes with high-level spinal cord injury: knowledge, incidence and attitudes of athletes in paralympic sport. *Disability and Rehabilitation*, v. 32, n. 26, p. 2172-2190, 2010. COWAN, H.; LAKRA, C.; DESAI, M. Autonomic dysreflexia in spinal cord injury. *British Medical Journal* v. 371, p. m3596, 2020.
- DITUNNO, J. F. Jr. et al. Recovery of upper-extremity strength in complete and incomplete tetraplegia: a multicenter study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 81, n. 4, p. 389-393, 2000.
- FERREIRA, V. M. de V.; VAROTO, R.; CACHO, Ê. A.; CLIQUET, A. Relationship between function, strength and electromyography of upper extremities of persons with tetraplegia. *Spinal Cord*, v. 50, n. 1, p. 28-32, 2011.
- GAO, L. et al. Progress in stem cell therapy for spinal cord injury. *Stem Cells International*, v. 2020, p. 2853650, 2020.

GASPAR, R. et al. Physical exercise for individuals with spinal cord injury: systematic review based on the international classification of functioning, disability, and health. *Journal of Sport Rehabilitation*, v. 28, n. 5, p. 505-516, 2019.

HEARN, J. H.; CROSS, A. Mindfulness for pain, depression, anxiety, and quality of life in people with spinal cord injury: a systematic review. *BMC Neurology*, v. 20, n. 1, p. 32, 2020.

HOFFMANN, G. et al. How to extend the elbow with a weak or paralyzed triceps: control of arm kinematics for aiming in C6–C7 quadriplegic patients. *Neuroscience*, v. 139, n. 2, p. 749-765, 2006.

IBITOYE, M. O. et al. Mechanomyography and muscle function assessment: a review of current state and prospects. *Clinical Biomechanics*, v. 29, n. 6, p. 691-704, 2014.

JOHANSON, M. et al. Triceps brachii in incomplete tetraplegia: EMG and dynamometer evaluation of residual motor resources and capacity for strengthening. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, v. 19, n. 4, p. 300-310, 2013.

KIRSHBLUM, S. et al. Updates of the International Standards for Neurologic Classification of Spinal Cord Injury: 2015 and 2019. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, v. 31, n. 3, p. 319-330, 2020.

KRUEGER-BECK, E.; SCHEEREN, E. M.; NOGUEIRA-NETO, G. N.; BUTTON, V. L.; NOHAMA, P. Mechanomyographic response during FES in healthy and paraplegic subjects. In: *ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY*, 32., 2010, Buenos Aires. Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. New York: IEEE, 2010. p. 626–629.

LI, Y. et al. Dementia, depression, and associated brain inflammatory mechanisms after spinal cord injury. *Cells*, v. 9, n. 6, p. 1420, 2020.

MARTIN GINIS, K. A.; JÖRGENSEN, S.; STAPLETON, J. Exercise and sport for persons with spinal cord injury. *PM&R: The Journal of Injury, Function and Rehabilitation*, v. 4, n. 11, p. 894-900, 2012.

MEAGHER, C. et al. New advances in mechanomyography sensor technology and signal processing: validity and intrarater reliability of recordings from muscle. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, v. 7, p. 1-10, 2020.

MOHAMAD, N. Z. et al. Mechanomyography and torque during FES-evoked muscle contractions to fatigue in individuals with spinal cord injury. *Sensors*, v. 17, n. 7, p. 1627, 2017.

SANDROW-FEINBERG, H. R.; HOULÉ, J. D. Exercise after spinal cord injury as an agent for neuroprotection, regeneration and rehabilitation. *Brain Research*, v. 1619, p. 12-21, 2015.

SANTOS, E. L. dos et al. Mechanomyography-based metric scale for spasticity: a pilot descriptive observational study. *Sensors*, v. 24, n. 16, p. 5276, 2024.

SCHEEREN, E. M.; KRUEGER-BECK, E.; NOGUEIRA-NETO, G. N.; BUTTON, V. L. S. N.; NOHAMA, P. Investigation of muscle behavior during different functional electrical stimulation profiles using mechanomyography. In: *ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY*, 32., 2010, Buenos Aires. Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. New York: IEEE, 2010. p. 3970–3973.

STEEVES, J. D. et al. Extent of spontaneous motor recovery after traumatic cervical sensorimotor complete spinal cord injury. *Spinal Cord*, v. 49, n. 2, p. 257-265, 2011.

TWEEDY, S. M.; BECKMAN, E. M.; CONNICK, M. J. Paralympic classification: conceptual basis, current methods, and research update. *PM&R: The Journal of Injury, Function and Rehabilitation*, v. 6, n. 8 Suppl., p. S11-S17, 2014.

VARA, Maria de Fátima Fernandes. *Resposta mecanomiográfica de músculos extensores/flexores de tronco e pelve de pessoas com lesão medular*. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia em Saúde, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba-PR, 2022.