Anais do V Congresso Brasileiro de Eletromiografia e Cinesiologia e X Simpósio de Engenharia Biomédica - ISBN: 978-85-5722-065-2 - DOI: 10.29327/cobecseb.78983

# BIOFEEDBACK NO APRENDIZADO DO CONTROLE DE FORÇA DOS MÚSCULOS EXTENSORES DO PUNHO: RELATO DE CASO

N. N. Zago*, A. S. Nakagawa**, L. F. R. M. Fernandes* e A. B. Soares**

* Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Brasil
** Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil
e-mail: najarazago@hotmail.com

**Resumo:** Este artigo descreve uma proposta de protocolo de treinamento com uso do *biofeedback*, para os músculos extensores do punho, com objetivo de aumentar o desempenho e aprendizado após a execução de uma tarefa com variação de cargas. Para validação preliminar da proposta, o protocolo foi testado em um voluntário destro com 25 anos de idade. Para a avaliação do controle da força foi desenvolvida uma tarefa de 70 segundos de duração com exercícios combinados de isotonia concêntrica, excêntrica e isometria, e também com variação entre os níveis de carga, de 0 a 60% da CIVM, e para o treinamento foi prospoto um protocolo que consistiu na associação de exercícios isotônicos concêntricos e excêntricos realizados em rampa com carga máxima de 60% da CIVM. A avaliação e o protolo de treinamento foram realizados por meio do *software* de *biofeedback* BioControl. Foi calculado o erro absoluto total da tarefa e do protocolo e o percentual de força média da linha de base. Os valores da média das repetições do erro absoluto total para avaliação inicial foi de 1,48mV e final de 1,00mV. E para o protocolo os valores foram de 2,24mV na primeira sessão e 1,30mV na última sessão. Com os resultados obtidos foi possível observar que, após a realização do programa de treinamento em rampa, realizado com *biofeedback*, o voluntário apresentou um maior controle da força dos músculos extensores do punho, avaliado pela tarefa proposta, confirmando nossas hipóteses iniciais de que o protocolo baseado em *biofeedback* influencia no aprendizado da tarefa.
**Palavras-chave:** Biofeedback, Treinamento de Resistência, Força da Mão, Força Muscular.

***Abstract:*** *This article describes a proposal of a biofeedback training protocol for extensor muscles of the wrist, aiming to increase performance and learning after performing a task with load variation. For preliminary validation of the proposal, the protocol was tested in one volunteer, right handed with 25 years old. For the assessment of strength control, a task of 70 seconds duration with combined concentric, eccentric and isometric exercises was developed, as well as with load levels, from 0 to 60% of the MVIC, and for the training was proposed a protocol that consisted an association of concentric and eccentric isotonic exercises performed on a ramp with a maximum load of 60% of MVIC. The evaluation and training protocol were performed using the biofeedback BioControl software. The absolute error of the task and the protocol and the mean strength percentage from baseline were calculated. The mean values of total absolute error for initial evaluation was 1.48 mV and the final was 1.00 mV. In addition, for the protocol the values were 2.24mV in the first session and 1.30mV in the last session. With the results obtained, it was possible to observe that, after performing the ramp training program, performed with biofeedback, the volunteer presented a greater control of the strength of wrist extensor muscles, evaluated by the proposed task, confirming our initial hypotheses that the protocol based on biofeedback influences the learning of the task.*
***Keywords****: Biofeedback, Resistance Training, Hand Strength, Muscle Strength.*

## Introdução

O desempenho de uma tarefa geralmente é observado em níveis de aprendizagem de uma habilidade motora, que incluem a melhoria, coerência, estabilidade, persistência, adaptabilidade e redução da demanda de atenção [1]. O aprendizado pode ser definido como uma mudança na capacidade de um sujeito em realizar uma habilidade que deve ser inferida em melhoria permanente do desempenho como resultado da prática e da experiência [2]. Para isso vários métodos podem ser utilizados, dentre eles o *biofeedback*. O *biofeedback* refere-se a uma técnica que utiliza dispositivos de monitoramento para ajudar pacientes a controlar conscientemente processos internos e pode ser utilizado no processo de reabilitação de pacientes após lesão. Para isso são analisados os processos fisiológicos e biomecânicos, por meio de eletromiografia, dinamometria e acelerometria. Nestes casos, busca-se, por exemplo, o fortalecimento de grupos musculares, melhoria da coordenação intra e intermuscular, redução de espasticidade, no treinamento esportivo ou na reabilitação fisioterapêutica [3].

Apesar do uso intensivo do *biofeedback* em várias áreas da fisioterapia diversos elementos ainda devem ser melhor elucidados para que se obtenha maior efetividade nos tratamentos. A eficiência do sistema nervoso central no controle da força pode ser estudada pelas mudanças nos níveis de força da realização de tarefas envolvendo vários músculos [4]. O controle da força desempenha um papel importante para a realização apropriada de várias tarefas manuais e contribui para a precisão e estabilidade

dos movimentos da mão [5]. No entanto, apesar dos métodos de fortalecimento serem bastante difundidos na literatura, pouco se sabe sobre aprendizado no controle da força durante a execução desses exercícios.

Na mão, a capacidade motora de produzir e controlar a força muscular está relacionado ao tipo de movimento, e à demanda imposta de esforço [4,6,7]. Na reabilitação motora, os treinos de controle da força e a força muscular são trabalhados como um componente só, apesar de apresentarem diferenças importantes. Sendo assim este artigo descreve uma proposta de protocolo de treinamento com uso do *biofeedback*, para os músculos extensores do punho, com objetivo de aumentar o desempenho e aprendizado após a execução de uma tarefa com variação de cargas.

## Materiais e métodos

Esta pesquisa caracteriza-se por ser um estudo piloto, composto por 1 sujeito do sexo masculino, destro, com idade de 25 anos, com ausência de disfunções neuromusculares e musculoesqueléticas dos membros superiores e que não realizou exercícios físicos para os membros superiores nos últimos 6 meses. A dominância do voluntário foi determinada pelo Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo [8].

O sujeito foi informado sobre os objetivos e procedimentos da pesquisa e assinou um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, conforme resolução nº510/16 do Conselho Nacional de Saúde (CNS). A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), de acordo com o parecer nº1820857.

Para a avaliação do controle da força propõe-se um protocolo de treinamento utilizando miofeedback (biofeedback EMG) baseado em uma tarefa de 70 segundos de duração, com exercícios combinados de isotonia concêntrica, excêntrica e isometria, e variação entre os níveis de carga, de 0 a 60% da contração isométrica voluntária máxima (CIVM - avaliada previamente), conforme mostra a Figura 2.

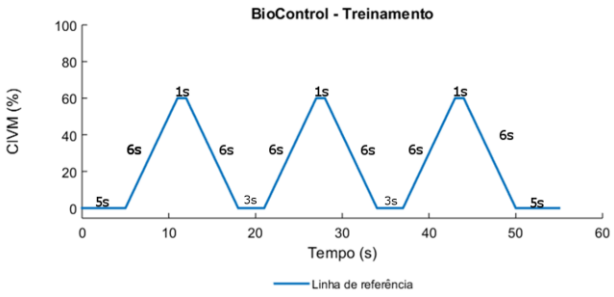


Figura 1: Representação gráfica do protocolo de treinamento com miofeedback a ser executado pelo voluntário. CIVM: contração isométrica voluntária máxima; %: porcentagem da carga; s: segundos.

Para o treinamento foi proposto um protocolo adaptado ao desenvolvido por Zinovieff (1951) [9] e consistiu na associação de exercícios isotônicos concêntricos e excêntricos realizados em rampa, e de exercícios isométricos, com carga máxima de 60% da CIVM e tempo máximo de execução de 55 segundos, como representado na Figura 1.

Foram realizadas 3 séries de 3 repetições do protocolo de treinamento e ao final de cada série o voluntário descansou por um período de 2 minutos. O treinamento teve duração de 5 sessões de 15 minutos cada e foi realizado somente no membro não dominante (esquerdo), por apresentar valores menores de força e um desempenho pior de tarefas [10].

Para implementação e execução do protocolo de miofeedback foi utilizado *software* BioControl, desenvolvido pelo Laboratório de Engenharia Biomédica (BioLab) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Por meio do BioControl foi possível: criar as tarefas; calcular o valor da força máxima do grupo muscular extensor do punho pela CIVM e determinar a linha de referência ou linha de base (linha azul) com os valores referentes as cargas de 20%, 40% e 60% da CIVM de cada voluntário. O *software* BioControl foi desenvolvido para apresentar um *biofeedback* capaz de fornecer informações em tempo real da força do voluntário durante a execução da tarefa e do protocolo de treinamento. A margem de erro tolerável (limite considerado válido) ou porcentagem de variação das forças da tarefa em relação ao protocolo de treinamento foi padronizado em 15%. Durante a execução da tarefa e do protocolo de treinamento, se o voluntário variasse as forças acima ou abaixo da margem de erro um estímulo auditivo (som) era acionado como forma de alerta. Porém se o voluntário se mantivesse dentro da margem de erro, um som contínuo agradável era tocado.

Antes do início da tarefa e do treinamento, foi realizada a calibração do sistema, a fim de ajustar os valores da linha de referência à CIVM. Desta forma, os valores da força necessários para cada etapa da tarefa e do protocolo de treinamento foram específicos para o voluntário.

*Análise Estatística* - Os arquivos dos dados foram gerados pelo *software* BioControl, processados e analisados por uma rotina no programa Matlab® (*The MathWorks Inc., USA*) versão R2015a. Para a análise da tarefa inicial ($A_1$) e final ($A_2$) e do protocolo treinamento (que consistiu em cinco sessões denominadas de $T_1$-$T_5$) foi calculado o erro absoluto total. Para a análise do % de força média da linha de base foram extraídas as informações de referência da dificuldade da tarefa e do protocolo de treinamento em % média de força, sendo $A_1$, $A_2$ = 28,71% e $T_1$-$T_5$ = 22,91%. Para análise do erro absoluto total da tarefa e do protocolo foi realizado o cálculo a partir da Equação 1. E para o % de Força Média da Linha de Base a Equação 2.

Erro Absoluto Total:

$$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|X_i - Y_i| \quad (1)$$

% de Força Média da Linha de Base:

$$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i \quad (2)$$

onde: n = somatório dos valores da taxa amostral da célula de carga; $X_i$ = valores da linha de referência; $Y_i$ = valores da amplitude do envelope do sinal EMG do voluntário.

## Resultados

A Figura 2 mostra um exemplo de repetição executado pelo voluntário – objetivo: controlar o nível de força muscular conforme a trajetória definida. Em linha azul é apresentada a trajetória de referência e, em vermelha a força executada pelo voluntário. Pode-se observar uma boa coincidência nesta repetição, com alguns desvios. Tais desvios da referência serão a base para avaliação do potencial de controle motor do sujeito.

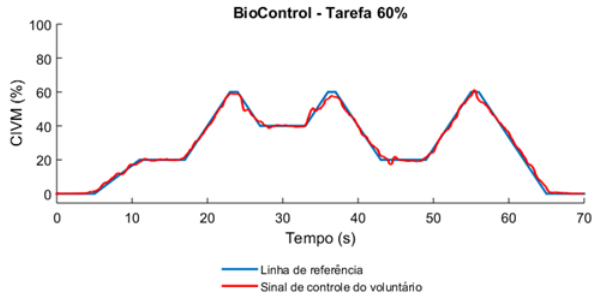


Figura 2: Protocolo para miofeedback e tarefa efetuada pelo voluntário.

Foi calculado o erro absoluto total para as 3 séries da avaliação inicial e final, do membro treinado e posteriormente calculada a média das 3 séries (Tabela 1).

Tabela 1 – Erro absoluto total das avaliações inicial e final do voluntário, do membro esquerdo (treinado) para as 3 séries.

| Avaliações | Erro Absoluto Total (mV) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Série 1 | Série 2 | Série 3 | Média das 3 Séries |
| Avaliação Inicial | 1,34 | 1,54 | 1,54 | 1,48 |
| Avaliação Final | 1,02 | 1,00 | 0,98 | 1,00 |

DP = desvio padrão; mV = milivolts.

Podemos verificar que o erro absoluto total foi menor na avaliação após o treinamento, para as três séries. Na análise entre as séries, houve diminuição do erro absoluto total, para a avaliação final.

O erro absoluto total do protocolo de treinamento foi extraído das 3 séries das 5 sessões de treinamento, como demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Erro absoluto total das sessões do protocolo de treinamento em rampa.

| Sessões do Treinamento | Erro Absoluto Total (mV) | | |
|---|---|---|---|
| | Série 1 | Série 2 | Série 3 |
| 1 | 2,92 | 1,91 | 1,88 |
| 2 | 1,71 | 1,52 | 1,40 |
| 3 | 1,31 | 1,42 | 1,49 |
| 4 | 1,24 | 1,47 | 1,59 |
| 5 | 1,57 | 1,19 | 1,13 |

DP = desvio padrão; mV= milivolts.

Neste caso verificamos uma diminuição progressiva do erro absoluto total nas três séries em relação as sessões de treinamento. Ao final do treinamento, o erro absoluto total foi menor na 5ª sessão quando comparada a primeira sessão.

## Discussão

Com os resultados obtidos foi possível observar que após a realização do programa de treinamento em rampa, realizado com *biofeedback*, o voluntário apresentou um maior controle da força dos músculos extensores do punho, avaliado pela tarefa proposta. Após as 5 sessões de treinamento foram observados um maior controle da força durante a realização dos protocolos em rampa e, também um maior controle da força na avaliação final da tarefa. Neste caso, a diminuição do erro absoluto total foi considerado um parâmetro importante para ser utilizado para avaliar o desempenho do voluntário. Por ser um *software* experimental, as avaliações e o treinamento foram realizados inicialmente num voluntário jovem sem nenhum tipo de lesão dos membros superiores.

Apesar do aprendizado não poder ser observado diretamente, pode-se inferir características do desempenho para este voluntário. O *biofeedback*, para este estudo, desempenhou um papel importante no aprendizado de novas habilidades motoras, que incluem o maior controle das forças [1]. Isso pode ser justificado pela adaptação do comportamento motor à tarefa e ao protocolo. A adaptabilidade está relacionada à persistência e mudança, também conhecida como estabilidade e variabilidade. Nesse estudo foram consideradas a estabilidade à habilidade motora, que se refere a capacidade de retornar ao estado inicial após uma perturbação ou um comportamento espontâneo observado antes mesmo da prática. A variabilidade do movimento está relacionada ao nível de aprendizagem, ao desempenho e consequentemente à adaptação. Sendo assim, podemos considerar que este indivíduo aprendeu a realizar a tarefa e o protocolo de treinamento foi capaz de aperfeiçoar o controle da força [2]. No aprendizado de uma habilidade, a prática é considerada como o fator mais importante responsável pelo aperfeiçoamento da capacidade de desempenhar uma tarefa [1,11–14].

Com base no protocolo de treinamento, os exercícios de contra resistência tornaram-se uma das formas mais populares de exercícios para reabilitação, prevenção de lesões, melhora da aptidão e condicionamento físico.

Várias modalidades de treinamento como, por exemplo, os treinamentos isométrico, isotônico, isocinético, resistência progressiva, pliométrico são utilizados para ganho de força muscular ou para hipertrofia muscular [15]. Para este estudo, foram selecionados a combinação de dois exercícios mais utilizados no atendimento clínico, que incluem exercícios isométrico, isotônico (concêntrico e excêntrico) que tem por finalidade o fortalecimento muscular.

**Conclusão**

Para o voluntário deste estudo de caso, foi verificado que associação do treinamento em rampa e o *biofeedback* tiveram um efeito positivo no aumento do controle da força, um melhor desempenho, considerando, neste caso, que o voluntário aprendeu a realizar tanto a tarefa quanto o protocolo de treinamento. Sendo assim, espera-se que este estudo possa contribuir futuramente na inserção de novos protocolos de controle de força, fortalecimento e avaliação que incluem o uso desse *software* de *biofeedback* em grupos de pacientes que apresentem patologias que afetem o punho e a mão.

**Agradecimentos**

Os autores agradecem ao LABCOM e ao BioLab por ceder espaço e equipamentos, à CAPES e à FAPEMIG pelo apoio financeiro

**Referências**

[1] Magill R, Anderson D. Motor learning and control: concepts and applications. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 2014.
[2] Ugrinowitsch H, Santos-Naves SP, Carbinatto MV, Benda RN, Tani G. Motor skill adaptation depends on the level of learning. Int J Hum Soc Sci. 2011;6(3).
[3] Sherman R. The future of biofeedback instrumentation: Applied Psychophysiology and biofeedback. 35th ed. Vol. 30. 2002.
[4. de Oliveira DG, Nunes PM, Aruin AS, dos Santos MJ. Grip Force Control in Individuals with Hand Osteoarthritis. J Hand Ther. 2011;24(4):345–55.
[5] de Oliveira MA, Loss JF, de Souza Petersen RD. Controle de força e torque isométrico em crianças com DCD. Rev Bras Educ Física E Esporte. 2005;19(2):89–103.
[6] NAPIER JR. The prehensile movements of the human hand. Bone & Joint Journal. 1956;38(4):902–13.
[7] Park J, Han D-W, Shim JK. Effect of resistance training of the wrist joint muscles on multi-digit coordination. Percept Mot Skills. 2015;120(3):816–40.
[8] Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the edinburgh inventory. Neuropsychologia. 1971;9(1):97–113.
[9] Zinovieff A. Heavy-resistance exercises the "Oxford technique." The British journal of physical medicine: including its application to industry. 1951;14(6):129–32.
[10] Shmuelof L, Krakauer JW, Mazzoni P. How is a motor skill learned? Change and invariance at the levels of task success and trajectory control. J Neurophysiol. 2012;108(2):578–94.
[11] Adams JA. Motor skills. Annu Rev Psychol. 1964;15(1):181–202.
[12] Fitts PM. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. J Exp Psychol Gen. 1992;121(3):262.
[13] Newell A, Rosenbloom PS. Mechanisms of skill acquisition and the law of practice. Cognitive skills and their acquisition. 1981;1:1–55.
[14] Newell KM. Motor skill acquisition. Annu Rev Psychol. 1991;42(1):213–237.
[15] Fleck SJ, Kraemer WJ. Fundamentos do Treinamento de Força Muscular. 4th ed. Porto Alegre: Artmed; 2017. 376 p.