

ESTRATÉGIAS ADAPTATIVAS HÍBRIDAS PARA EXOESQUELETOS DE MEMBROS INFERIORES

Renan Ribeiro Machado

Adriano Almeida Gonçalves Siqueira

Escola de Engenharia de São Carlos/ Universidade de São Paulo

renan_11@usp.br

Objetivos

O principal objetivo deste estudo é investigar a combinação entre a Estimulação Elétrica Funcional (FES) e o robô AnkleBot, visando a otimização de parâmetros que possam ser aplicados em reabilitação motora de pacientes com dificuldades de locomoção. A proposta é integrar os dois sistemas de modo a proporcionar uma assistência personalizada ao caminhar, melhorando a mobilidade e promovendo a recuperação neuromotora.

Métodos e Procedimentos

O estudo foi conduzido com um voluntário saudável, sendo focado na análise do músculo gastrocnêmio, um dos principais responsáveis pela flexão plantar, movimento essencial para a caminhada. O sistema de reabilitação utilizado consistiu em três componentes principais:

AnkleBot: Um dispositivo robótico vestível projetado para proporcionar suporte mecânico durante a execução de movimentos funcionais do tornozelo.

FES: Componente que gera estímulos elétricos usado para induzir contrações musculares no gastrocnêmio, sincronizadas com os movimentos assistidos pelo AnkleBot.

ReRobApp: Um software que permite a coleta e análise de dados de forma integrada entre os dispositivos. Ele facilita o ajuste dos parâmetros de controle do AnkleBot e da FES,

além de possibilitar a visualização em tempo real da atividade muscular.

Os procedimentos experimentais seguiram um protocolo aprovado pelo Comitê de Ética, no qual o voluntário permaneceu sentado em uma cadeira, com o AnkleBot e os eletrodos da FES posicionados corretamente. Foram realizados três experimentos, descritos a seguir.

Resultados

Experimento 1 – Teste de Força Máxima Voluntária: O voluntário foi instruído a realizar a maior flexão plantar possível, com o AnkleBot configurado para fornecer resistência de 40 N/m. A força máxima atingida foi de 22N, valor que serviu como referência para os testes subsequentes, sendo considerado 100% da amplitude máxima de movimento.

Experimento 2 – Otimização de Parâmetros da FES: Neste experimento, o foco foi encontrar a combinação ideal de corrente e largura de pulso da FES para maximizar a amplitude de movimento sem causar desconforto. A corrente foi variada entre 20mA e 35mA, enquanto a largura de pulso foi testada entre 250 μ s e 450 μ s. O resultado mostrou que a corrente de 30mA com uma largura de pulso de 350 μ s foi a configuração mais eficaz, atingindo a maior amplitude de movimento antes de causar desconforto ao voluntário.

Experimento 3 – Análise da Fadiga Muscular:

Para avaliar a fadiga muscular, foi aplicado um pulso contínuo de 30mA e 350 μ s por 2 minutos, seguido de pausas regulares, durante as quais um novo pulso era aplicado a cada 10 segundos. Observou-se uma diminuição na força muscular ao longo do tempo, indicando o efeito da fadiga. No entanto, a recuperação do músculo foi rápida nos primeiros 50 segundos de descanso, estabilizando-se posteriormente. Além disso, foi possível gerar uma curva logarítmica que prevê o comportamento da recuperação muscular de forma satisfatória.

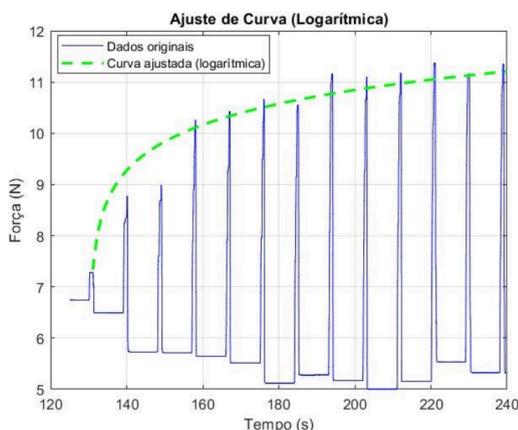


Figura 1: Curva do experimento de fadiga

Conclusões

Os experimentos demonstraram que a combinação da Estimulação Elétrica Funcional com o AnkleBot é uma abordagem promissora para a reabilitação motora. A corrente de 30mA com uma largura de pulso de 350 μ s foi a configuração ideal para maximizar a amplitude de movimento sem causar desconforto. Entretanto, a FES conseguiu recrutar apenas 50% da força voluntária máxima antes de atingir o limite de desconforto, indicando que há uma limitação no recrutamento muscular por meio da estimulação elétrica.

A análise da fadiga muscular revelou que o músculo se recupera rapidamente nos primeiros 50 segundos após a aplicação de pulsos contínuos. Apesar dos resultados

positivos, o estudo sugere que mais pesquisas são necessárias para avaliar as variações individuais, como peso, idade e altura, e como esses fatores influenciam os parâmetros ideais de FES. Além disso, seria interessante desenvolver uma aplicação que permita a geração de movimentos involuntários usando o AnkleBot em conjunto com a FES, criando uma integração mais eficaz entre os dispositivos e potencializando os benefícios da reabilitação motora.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Reabilitação Robótica e à Escola de Engenharia de São Carlos pela infraestrutura e suporte durante a realização dos experimentos. Agradecemos também ao voluntário pela participação no estudo.

Referências

Riener, R., & Fuhr, T. (1998). Patient-driven control of FES-supported standing up: A simulation study. **IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering**, 6(2), 113-124.

FORRESTER, Larry W. et al. Ankle training with a robotic device improves hemiparetic gait after a stroke. **Neurorehabilitation and neural repair**, v. 25, n. 4, p. 369-377, 2011.

Moreno, J. Y., Escalante, F. M. Boaventura, T., Terra, M. H., & Siqueira, A. A. G. (2022). Estratégias Adaptativas Híbridas para Exoesqueletos de Membros Inferiores. **Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Reabilitação Robótica.**