

PROTÓTIPO INTELIGENTE PARA REABILITAÇÃO MOTORA COM FEEDBACK TÁTIL

Carolline Teixeira Girão ¹; Eduardo Veiga de Toledo Arruda ²; Patricia Marcondes dos Santos ³

¹Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP. carolline.tgirao@gmail.com.

²Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP. eduardo.arruda@uol.com.br.

³Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP. patriciams@univap.br

Resumo: As lesões neurológicas, como o Acidente Vascular Cerebral (AVC), lesões medulares e neuropatias periféricas, estão entre as principais causas de incapacidade funcional no mundo. Segundo a Organização Mundial da Saúde, o AVC afeta cerca de 15 milhões de pessoas anualmente, sendo que muitos dos sobreviventes apresentam comprometimento permanente da função motora dos membros superiores, com impacto direto na autonomia e na qualidade de vida. A recuperação da função é desafiadora, uma vez que a execução precisa de controle motor fino depende de complexas interações sensorio-motoras, frequentemente prejudicadas após lesões do sistema nervoso central. A reabilitação efetiva dessa função depende de prática repetitiva orientada à tarefa e de feedback sensorial contínuo, fatores que favorecem os mecanismos de neuroplasticidade e reorganização cortical. Nesse contexto, dispositivos vestíveis de baixo custo têm se destacado como alternativas promissoras, por aliar sensores, atuadores e microcontroladores a protocolos terapêuticos simplificados, viabilizando o uso tanto em ambientes clínicos quanto domiciliares. Entretanto, os dispositivos tecnológicos disponíveis comercialmente para essa finalidade apresentam custo elevado, frequentemente inviabilizando seu uso no sistema público de saúde e em contextos de baixa renda, aprofundando as desigualdades no acesso à reabilitação de qualidade. Diante desse cenário, este trabalho teve como objetivo desenvolver um protótipo vestível de baixo custo, destinado à reabilitação da função tátil da mão por meio de feedback tátil adaptativo. Por ser um protótipo, iniciou-se com o desenvolvimento de um dedo inteligente. Sua metodologia envolveu levantamento bibliográfico sobre reabilitação motora e dispositivos vestíveis, seleção e aquisição de componentes eletrônicos (sensores, motor vibratório e microcontrolador), montagem do circuito, lógica de programação com a calibração dos sensores. Durante a fase experimental, os componentes foram testados individualmente. O feedback respondeu adequadamente aos sinais PWM (Pulse Width Modulation - Modulação por Largura de Pulso) de 0 a 255, com amplitude de vibração proporcional ao *duty cycle* (ciclo de trabalho) aplicado, permitindo modular o feedback tátil conforme a necessidade terapêutica. O sensor de flexão apresentou comportamento linear entre 10° e 90° de curvatura, com variação de resistência de aproximadamente 10kΩ a 30kΩ, compatível com valores reportados na literatura. O sensor FSR402 demonstrou resposta não linear, dentro do intervalo de 0 a 5N de pressão. A calibração automática realizada na inicialização do código registrou valores mínimos e máximos de

leitura de cada sensor, garantindo o funcionamento adaptativo do sistema para diferentes usuários. Ao longo do processo, foram registrados alguns obstáculos: O motor devido à falta de corrente oferecida pela bateria utilizada, não manteve o funcionamento durante o período necessário; o rompimento físico do sensor de flexão durante os testes. O que exigiu a substituição e adequação dos componentes; e revisão da lógica de programação, para calibração dos sensores junto ao feedback do sistema. Os testes realizados no protótipo comprovaram sua viabilidade técnica como uma solução acessível para reabilitação motora, unindo inovação tecnológica, facilidade de uso e baixo custo na coleta objetiva de métricas fisioterapêuticas e uma assistência neurológica mais justa. Próximos trabalhos consiste na integração dos componentes à luva, fixando sensores no dedo e posicionamento ergonômico do circuito.

Palavras-chave: Reabilitação motora; Feedback tátil; Dispositivo vestível; Sensor de flexão; Engenharia biomédica.

INTELLIGENT PROTOTYPE FOR MOTOR REHABILITATION WITH TACTILE FEEDBACK

Carolline Teixeira Girão ¹; Eduardo Veiga de Toledo Arruda ²; Patricia Marcondes dos Santos ³

¹Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP. carolline.tgirao@gmail.com.

²Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP. eduardo.arruda@uol.com.br.

³Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP. patriciams@univap.br.

Abstract: Neurological injuries, such as stroke, spinal cord injuries, and peripheral neuropathies, are among the leading causes of functional disability worldwide. According to the World Health Organization, stroke affects approximately 15 million people annually, with many survivors experiencing permanent impairment of upper limb motor function, which has a direct impact on their independence and quality of life. Function recovery is challenging, since the execution of fine motor control depends on complex sensory-motor interactions, which are often impaired after central nervous system injuries. Effective rehabilitation of this function depends on repetitive task-oriented practice and continuous sensory feedback, factors that favor the mechanisms of neuroplasticity and cortical reorganization. In this context, low-cost wearable devices have emerged as promising alternatives, as they combine sensors, actuators, and microcontrollers with simplified therapeutic protocols, enabling their use in both clinical and home environments. However, commercially available technological devices for this purpose are expensive, often making their use unfeasible in the public health system and in low-income contexts, thereby deepening inequalities in access to quality rehabilitation. Given this scenario, this study aimed to develop a low-cost wearable prototype for the rehabilitation of hand tactile function through adaptive tactile feedback. As it is a prototype, development began with a smart finger. The methodology involved a literature review on motor rehabilitation and wearable devices, selection and acquisition of electronic components (sensors, vibrating motor, and microcontroller), circuit assembly, programming logic, and sensor calibration. During the experimental phase, the components were tested individually. The feedback responded adequately to PWM (Pulse Width Modulation) signals from 0 to 255, with vibration amplitude proportional to the applied duty cycle, allowing the tactile feedback to be modulated according to therapeutic needs. The flex sensor showed linear behavior between 10° and 90° of curvature, with a resistance variation of approximately 10k Ω to 30k Ω , compatible with values reported in the literature. The FSR402 sensor demonstrated a non-linear response within the range of 0 to 5N of pressure. The automatic calibration performed at code startup recorded minimum and maximum readings for each sensor, ensuring adaptive system operation for different users. Throughout the process, some obstacles were encountered: The motor did not remain operational for the required period due to the lack of power supplied by the battery used; the physical breakage of the flex sensor during testing. This required the

replacement and adjustment of components; and revision of the programming logic for sensor calibration with system feedback. The tests carried out on the prototype proved its technical feasibility as an accessible solution for motor rehabilitation, combining technological innovation, ease of use, and low cost in the objective collection of physiotherapeutic metrics and fairer neurological care. Future work consists of integrating the components into the glove, attaching sensors to the finger, and ergonomically positioning the circuit.

Keywords: Motor rehabilitation; Tactile feedback; Wearable device; Flexion sensor; Biomedical engineering.