

Fisioter Bras 2020;21(1)Supl:S96-S102
<https://doi.org/10.33233/fb.v21i1.3929>

ARTIGO ORIGINAL

Avaliação do equilíbrio em ambiente aquático através da acelerometria em paciente pós acidente vascular cerebral

Evaluation of body balance in aquatic environment in post-stroke patient through accelerometry

Amanda Maria da Conceição*, Caroline de Cássia Batista de Souza**, Maria Clara Porfirio de Souza**, Kétura Rhammá Cavalcante Ferreira*, Leiliane Patrícia Gomes de Macêdo**, Malkiçedheq Benjamim Celso da Silva Silva***, Ana Vitória de Moraes Inocêncio****, Marco Aurélio Benedetti Rodrigues*****

*Fisioterapeuta, Grupo de Pesquisa Engenharia Biomédica, UFPE, Recife/PE, **Fisioterapeuta, Faculdade São Miguel, Recife, ***Engenheiro eletrônico; Grupo de Pesquisa Engenharia Biomédica, UFPE, Recife, ****Engenheira biomédica; Grupo de Pesquisa Engenharia Biomédica, UFPE, Recife, *****Engenheiro eletrônico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFPE, Recife

Correspondência: Amanda Maria da Conceição, Laboratório de Interface Homem-Máquina, Departamento de Eletrônica e Sistemas - DES, Centro de Tecnologia e Geociências - CTG, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Av. da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, 50740-550 Recife PE

Amanda Maria da Conceição, e-mail: amanda.1fisio@hotmail.com
 Caroline de Cássia Batista de Souza, e-mail: carolcb_souza@hotmail.com
 Maria Clara Porfirio de Souza, e-mail: mclarafisioterapia@gmail.com
 Kétura Rhammá Cavalcante Ferreira, e-mail: ketura.cavalcante@hotmail.com
 Leiliane Patrícia Gomes de Macêdo, e-mail: leilianemaacedo@gmail.com
 Malkiçedheq Benjamim Celso da Silva Silva, e-mail: malki-cedheq.benjamim@ufpe.br
 Ana Vitória de Moraes Inocêncio: anavitoriam@gmail.com
 Marco Aurélio Benedetti Rodrigues: mabrbenedetti@gmail.com

Resumo

Introdução: O acidente vascular cerebral (AVC) compromete o Sistema Nervoso Central sendo responsável por uma série de lesões que provocam déficits de equilíbrio. O acelerômetro é utilizado para mensurar a aceleração, podendo calcular a velocidade dos movimentos, a partir das oscilações corporais e pode ser empregado na avaliação do equilíbrio. **Objetivo:** Avaliar o equilíbrio após um AVC, através da acelerometria. **Métodos:** Trata-se de um estudo piloto. A pesquisa foi composta por duas etapas sendo a primeira o desenvolvimento de um equipamento para a aquisição e armazenamento de sinais de acelerômetros. O sistema é composto por dois acelerômetros integrados a um microcontrolador com comunicação via Bluetooth. A segunda parte foi a aplicabilidade do instrumento dentro da água e a comparação dos dados obtidos dentro e fora da água. **Resultados:** Observou-se a velocidade do passo e o deslocamento do centro de massa durante a caminhada através da variação da acelerometria nos eixos (XY). O equilíbrio sofreu poucas variações durante o exercício na água, tornando a caminhada mais constante e sem variações abruptas quando comparado com o solo. **Conclusão:** Após a análise dos dados concluiu-se que o instrumento foi eficiente para avaliar o equilíbrio dentro e fora da água.

Palavras-chave: acidente vascular cerebral, equilíbrio, acelerômetro hidroterapia.

Abstract

Introduction: Stroke compromises the Central Nervous System (CNS) and is responsible for a series of injuries that can cause body balance deficits. The accelerometer is device used to measure acceleration and calculate the movement speed from body oscillations and can be used to assess balance. **Objective:** Evaluation of body balance after stroke through accelerometry. **Methods:** This is a pilot study. The research consisted of two stages, the first being the development of equipment for the acquisition and storage of accelerometer signals. The system

consists of two accelerometers integrated into a microcontroller with communication via Bluetooth. The second part was the evaluate applicability of the instrument in water and the comparison of data obtained in and out of water. *Results:* The velocity of the step and the displacement of the center of mass during the walking were observed through the variation of the axial accelerometry (XY). The balance suffered few variations during water exercise, making walking more constant and without abrupt variations compared to the ground. *Conclusion:* After data analysis it was concluded that the developed instrument was efficient to evaluate the body balance in and out of water.

Key-words: stroke, balance, accelerometer, hydrotherapy.

Introdução

O Acidente Vascular Encefálico (AVE) é caracterizado como um déficit neurológico de início súbito, de origem vascular que causa lesões encefálicas e danos às funções neurológicas, pode ocorrer do tipo isquêmico ou hemorrágico, sendo o isquêmico o mais comum [1-3]. O AVE é uma das principais causas de morte e incapacidades no mundo. No Brasil, são registradas cerca de 68 mil mortes por AVE anualmente [1,2]. A incidência do AVE aumenta duas vezes mais a cada década de vida a partir dos 55 anos, sendo que em mulheres a incidência é superior, com aproximadamente mais 55000 AVEs do que quando comparada aos homens [4].

Após um AVE o indivíduo acometido pode evoluir com várias sequelas sendo essas dependentes do local atingido, do tipo e da extensão da lesão [5,6]. Os sistemas, sensitivo, visual, motor, perceptual, vestibular e cognitivo podem ser comprometidos, gerando déficits na capacidade motora, sendo a mais evidente a hemiparesia. A hemiparesia gera dificuldades de manter a postura adequada com alteração da distribuição de peso no hemicorpo plégico [3]. Essa assimetria e a dificuldade em transferir o peso para o lado afetado interferem na capacidade de manter o controle postural, dificultando a orientação e a estabilidade nos movimentos de tronco e membros, prejudicando de forma relevante o equilíbrio [1,3,4].

O equilíbrio é um componente fundamental para a manutenção da postura, sendo um facilitador do movimento, configurando-se como estratégia para reorganizar o controle postural, coordenado pela complexa interação entre os sistemas corporais [5]. Os déficits de equilíbrio influenciam diretamente na capacidade funcional dos indivíduos que sofreram um AVE, incapacitando a realização de tarefas do cotidiano [2]. Além do déficit de equilíbrio aspectos como força, sensibilidade, cognição, e comunicação também são prejudicadas. Sendo assim, o processo de reabilitação formado por uma equipe multidisciplinar é de extrema importância para o restabelecimento das funções afetadas [4].

A fisioterapia aquática é capaz de promover maior autonomia e funcionalidade ao paciente, minimizando as respostas anormais, favorecendo os movimentos apropriados. Os pacientes se beneficiam dos princípios físicos e termodinâmicos da água, entre os quais se destacam a pressão hidrostática, a viscosidade e o empuxo sendo essas as variáveis que direcionam as intervenções terapêuticas [6,7]. As variações que podem ser proporcionadas no ambiente aquático, como, por exemplo, a produção de turbulência, criam um meio propício para o trabalho do equilíbrio estático e dinâmico, a água também favorece maior liberdade ao paciente durante execução de movimentos [7].

Com o desenvolvimento da tecnologia, sensores inerciais, como acelerômetros e giroscópios, têm sido cada vez mais utilizados para monitoramento das atividades físicas humanas [8]. Esses equipamentos podem auxiliar no desenvolvimento de sistemas de controle biomédicos para reabilitação. Os acelerômetros são sensores muito precisos na percepção de frequência e intensidade de movimentos podendo ser muito úteis para a avaliação dos movimentos humanos [9].

A fixação de sensores em membros inferiores permite uma avaliação confiável dos parâmetros espaço-temporais durante a marcha, como, por exemplo, comprimento da passada, velocidade de caminhada e fase de balanço, podendo ser utilizados também para avaliar o equilíbrio tanto de pessoas saudáveis quanto de pessoas com disfunções neurológicas, como é o caso do AVE [9,10]. Neste contexto o presente estudo tem como objetivo avaliar o equilíbrio após um AVE, e validar os aspectos funcionais de um sistema eletrônico para uso em ambiente aquático.

Material e métodos

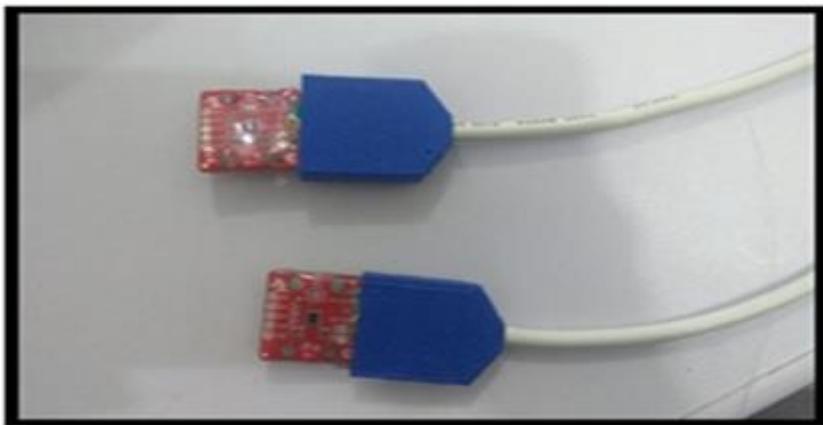
Trata-se de um estudo do tipo piloto, que teve o objetivo de validar aspectos funcionais de um instrumento para sua utilização em meio aquático. O estudo foi dividido em duas partes. A primeira parte foi o desenvolvimento e adaptação de um equipamento com acelerometria para utilização dentro da água. Visando essa atividade, foi desenvolvido um sistema composto por dois sensores de acelerometria integrados a um microcontrolador com comunicação a um computador realizada através do protocolo Bluetooth.

A finalidade dessa comunicação sem fio é de visualizar os resultados e também armazená-los para análises estatísticas. A segunda parte foi a aplicabilidade do instrumento dentro da água e a verificação do funcionamento. A coleta de dados foi realizada através do projeto previamente autorizado pelo comitê de ética de estudos com seres humanos sob CAAE 86285418.7.0000.5208.

O equipamento desenvolvido é composto por dois acelerômetros integrados a um microcontrolador com comunicação com um computador realizada através do protocolo Bluetooth. Foi utilizada a placa de desenvolvimento MSP430 para a construção do equipamento. Esta placa de desenvolvimento da Texas Instruments é uma placa de baixo custo com o microcontrolador MSP430G2553 com 16KB de memória flash e 512B de memória RAM, que pode funcionar em 16 MHz. Dentre as principais características desta placa de desenvolvimento, pode-se citar o baixo consumo de energia, permitindo o uso de baterias por longos períodos.

A transmissão de dados sem fio para o computador foi feita utilizando um dispositivo com protocolo Bluetooth 2.0. Este tipo de protocolo trabalha com baixo consumo de energia e com alcance máximo 50 metros, dependendo da potência utilizada. Os dispositivos de Bluetooth trabalham na faixa de frequência ISM (Industrial, Scientific, Medical), oferecem taxa de transmissão relativamente alta (3Mbps/s para o Bluetooth 2.0), e trabalham de modo pareado com os dispositivos, garantindo uma transmissão segura de dados.

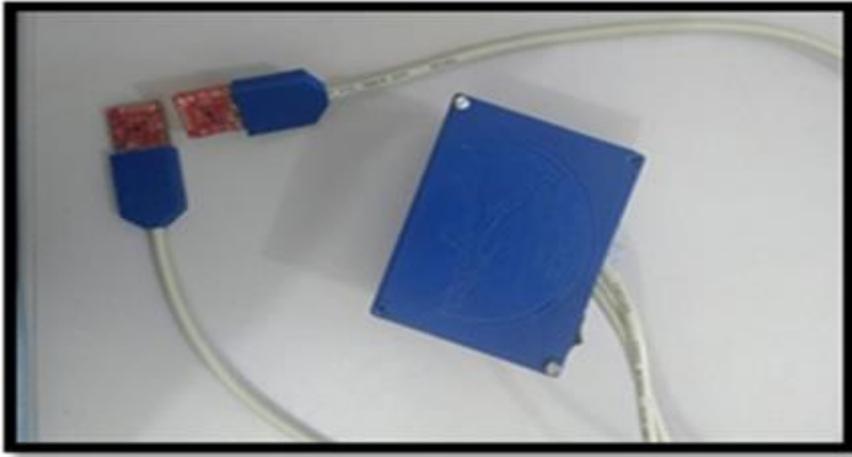
O módulo escolhido para o sistema contém um acelerômetro LSM6DS3 com um giroscópio integrado, ambos triaxiais e usando tecnologia MEMS (Micro Electromechanical Systems), tendo 6 graus de liberdade ao todo. O conversor AD integrado ao módulo LSM6DS3 possui 16-bits e captura os sinais para os eixos X, Y e Z simultaneamente. É um dispositivo de consumo baixo e oferece comunicação serial I2C, diminuindo assim o número de fios conectados ao dispositivo e facilitando o trabalho no momento da aquisição. Para impermeabilização e selagem dos acelerômetros para o funcionamento dentro da água, foi utilizado um verniz impermeabilizante e cola epóxi Araldite® (Figura 1).



Fonte: acervo da autora, 2019.

Figura 1 - Acelerômetro impermeabilizado.

Foi confeccionada uma caixa personalizada para proteger o sistema embarcado contendo saídas para os dois canais dos acelerômetros, a caixa foi construída utilizando uma impressora 3D. A passagem dos cabos na caixa foi vedada com silicone. Os cabos foram presos com Fita Tape (Silver Tape 8979, 3MTM) a caixa finalizada pode ser vista na Figura 2.



Fonte: Acervo da autora, 2019.

Figura 2 - Instrumento.

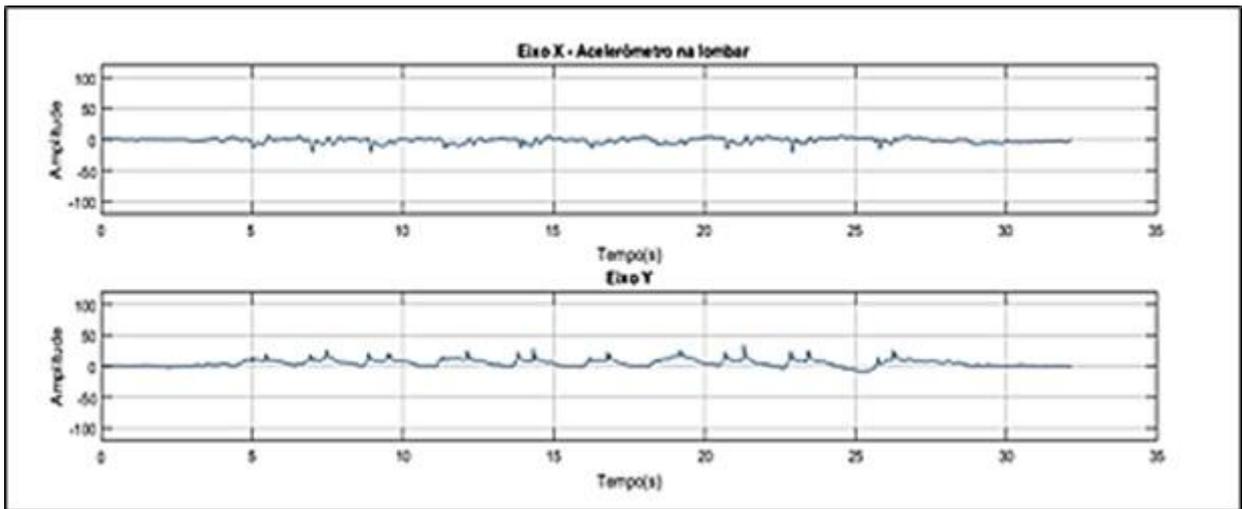
Inicialmente a paciente realizou uma caminhada de 8 metros, em solo e em seguida em ambiente aquático, com água ao nível do esterno, com monitoramento da acelerometria. Apenas um acelerômetro foi utilizado e ele foi colocado na região lombar da paciente. Os dados foram enviados via Bluetooth para o software instalado no computador, gravados e computados para comparação posterior.

Resultados

Diante das disfunções encontradas na caminhada decorrente do déficit de equilíbrio, comumente observado após um AVE, realizou-se uma caminhada em ambiente aquático e em solo a fim de avaliar e comparar o equilíbrio. O diferencial dessa pesquisa foi a utilização do acelerômetro para verificar sua usabilidade como ferramenta de auxílio na avaliação do equilíbrio dentro da água em tempo real. O acelerômetro fixado na lombar permitiu analisar o grau de dispersão da caminhada, além de permitir calcular o tempo total do teste, a velocidade média e o valor médio do passo.

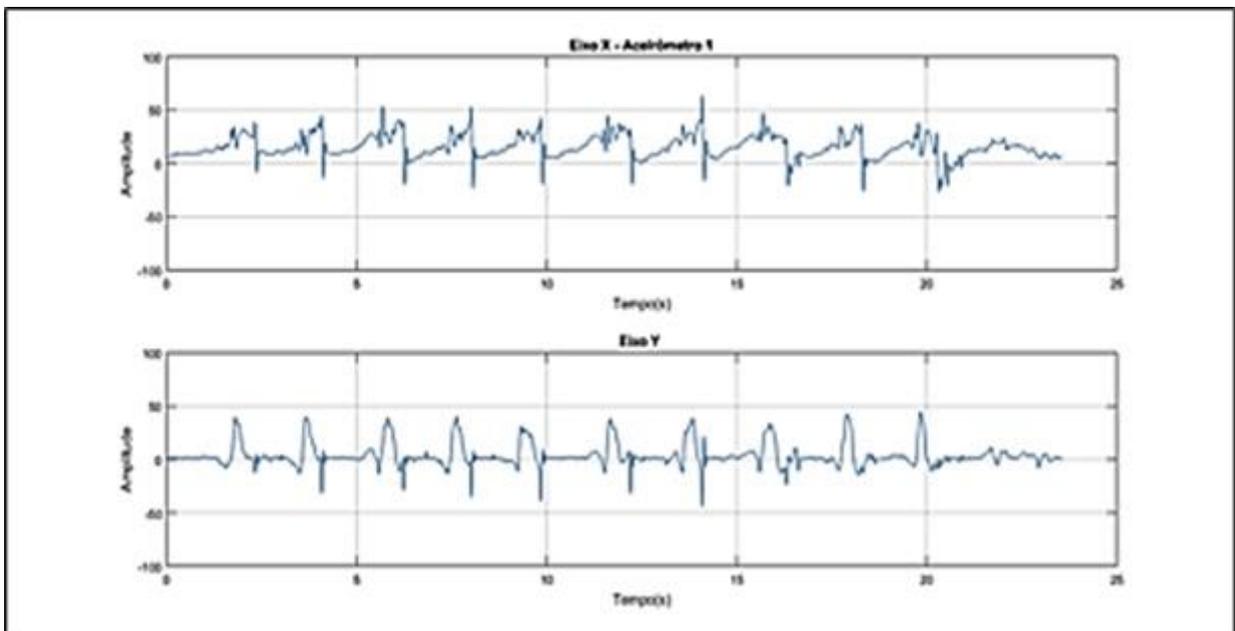
O equipamento utilizado possibilitou observar a velocidade do passo e o deslocamento do centro de massa da paciente durante a caminhada através da variação da acelerometria nos eixos (XY). A aquisição dos sinais da acelerometria deu-se em formato analógico que posteriormente foi transformado para o formato digital, em seguida foram utilizadas técnicas de processamento, melhoramento e filtragens desses sinais. Após o processamento da informação adquirida, houve a extração dos dados referentes às acelerações e aos deslocamentos, esses dados foram visualizados através do software Matlab®, que é um software de computação numérica de visualização e análise de dados.

A caminhada ocorreu em um trajeto de 8 m, tanto em solo como na água e após as análises foram encontrados os seguintes resultados: em ambiente aquático a paciente fez um tempo médio de 23,24 segundos para completar o percurso, sua velocidade média para esse percurso foi de 0,344 m/s (Figura 3). A caminhada em solo, no entanto teve um tempo médio de 19,10 segundos para completar o percurso, e a velocidade média foi de 0,4188 m/s (Figura 4). De acordo com dados das análises pode-se identificar que o centro de massa teve menos variações durante a caminhada dentro da água, quando comparado com a caminhada em solo.



Fonte: Acervo da autora, 2019.

Figura 3 - Gráfico da caminhada em ambiente aquático.



Fonte: Acervo da autora, 2019.

Figura 4 - Gráfico da caminhada em solo.

Os resultados sugerem que houve melhora no equilíbrio durante a caminhada em meio aquático, conseqüentemente houve também melhora no padrão de marcha apresentado pela paciente.

Discussão

Há vários métodos para mensuração e avaliação do equilíbrio, mas também é possível e eficaz a avaliação através de acelerômetros. A acelerometria pode ser obtida em uma, duas ou três dimensões, no estudo em questão utilizou-se dois eixos de acordo com o objetivo do estudo. Além da praticidade e baixo custo do instrumento, o que favorece sua aplicação.

O uso da acelerometria tem como principal finalidade a determinação da posição e sensibilidade das vibrações mecânicas, amplitudes e frequências que ocorrem durante a movimentação [11,12] e com isso é comum a utilização desse recurso para reabilitação neurológica e monitoramento de atividade física, conforme aponta Magarreiro [13]. Em um estudo realizado por Silva [14], que tinha como objetivo a combinação de questionário e uso da acelerometria como sendo uma melhor estratégia para avaliar a proporção de indivíduos adultos fisicamente inativos, foi percebido que o uso dos parâmetros supracitados se mostrou válido para

a averiguação. O que pode inferir sobre a utilização da acelerometria para observação de atividade física.

A prática de atividade física pode contribuir para a manutenção e melhora funcional [15,16]. Em razão dos benefícios proporcionados em ambiente aquático é comum a utilização desse recurso como abordagem em indivíduos pós-AVE.

No que refere aos efeitos da imersão no indivíduo, Carregaro e Toledo [17] e Caromano et al. [18] apontam que as propriedades físicas da água e seus efeitos fisiológicos sugerem um maior tempo de reação, ou seja, o indivíduo apresenta maior tempo de resposta em relação ao ato motor. Além disso existe uma menor descarga de peso e, conseqüentemente, menor impacto nas articulações, facilitando a execução dos movimentos.

Greco-Otto *et al.* [19] realizaram um estudo com cavalos que evidenciou o impacto nos membros quando imerso em diferentes profundidades com o auxílio de acelerômetros. O estudo constatou que a aceleração de pico em todos os locais foi menor com água em qualquer altura em comparação com o controle em ambiente terrestre. Conclui-se que a imersão em água durante o exercício reduziu as acelerações e houve aumento da passada em cavalos. Apesar da população estudada ser composta por cavalos, tal pesquisa sugere efeitos benéficos da imersão na reabilitação de lesões nos membros inferiores em humanos.

Durante a atividade em ambiente aquático são gerados estímulos em decorrência da movimentação, o que promove certa instabilidade postural. Porém, em decorrência do aumento no tempo de resposta no meio há o favorecimento na melhoria do equilíbrio.

O que corrobora com o estudo de Mann et al. [20], em que avaliaram um grupo de idosos que realizaram hidroginástica. No estudo foi avaliado o equilíbrio estático e constatou-se uma melhora no equilíbrio de idosos que realizavam atividades em ambiente aquático. Assim como o de Resende *et al.* [21], com estudo experimental com idosos utilizando um programa de exercícios por 12 semanas com duração de 40 minutos por sessão, além de outras ferramentas para avaliação de equilíbrio, concluiu-se que a fisioterapia aquática se mostra efetiva na melhoria do equilíbrio em idosos.

Os achados obtidos nos estudos supracitados corroboram com os achados do presente estudo apontando que a utilização de acelerômetros podem ser úteis na avaliação do equilíbrio em ambiente aquático. Contudo se faz necessário que outros estudos com maior número amostral e um período maior de intervenção sejam realizados para comprovar a real eficiência da utilização desse tipo de equipamento em imersão.

Conclusão

Os achados obtidos nesse estudo sugerem que a utilização de um sistema eletrônico composto por acelerômetros foi eficaz para avaliar em tempo real as alterações de equilíbrio durante a marcha dentro e fora da água. Foi possível observar o deslocamento do centro massa da paciente, a velocidade média e o valor médio do passo, tornando o sistema uma opção viável, fornecendo dados que auxiliam o terapeuta durante o atendimento.

Os resultados sugerem ainda que o ambiente aquático favorece a melhora do equilíbrio durante a caminhada em meio aquático, além da melhora do padrão de marcha, sendo esses achados positivos, que tornam possível uma avaliação mais criteriosa, trazendo a possibilidade de escolher a melhor alternativa de tratamento para a paciente.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da CAPES e da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

Referências

1. Ferla LF, Grave M, Perico E. Fisioterapia no tratamento do controle de tronco e equilíbrio de pacientes pós AVC. *Rev Neurocienc* 2015;23(2):211-7. <https://doi.org/10.4181/rnc.2015.23.02.1014.7p>
2. Meneghetti CHZ, Carraro L, Leonello LA, Batistella ACT, Júnior LCF. A Influência da Fisioterapia Aquática na Função e Equilíbrio no Acidente Vascular Cerebral. *Rev Neurocienc* 2012;20(3):410-4.

3. Trindade APNT, Barboza MA, Oliveira FB, Borges APO. Influência da simetria e transferência de peso nos aspectos motores após Acidente Vascular Cerebral. *Rev Neurocienc* 2011;19(1):61-7.
4. Piassaroli CAP, Almeida GC, Luvizotto JC, Suzan ABBM. Modelos de reabilitação fisioterápica em pacientes adultos com sequelas de AVC isquêmico. *Rev Neurocienc* 2012;20(1):128-37.
5. Medeiros CSP, Fernandes SGG, Souza, GDT, Cacho EWA, Cacho RO. Comprometimento motor e risco de quedas em pacientes pós-acidente vascular encefálico. *Rev Bras Ciênc Mov* 2019;27(1):42-9.
6. Tonieto M, Rama P, Schuster RC, Renosto A. Efeitos de uma intervenção de fisioterapia aquática em pacientes pós-acidente vascular cerebral. *Rev de Atenção à Saúde* 2015;13(45):5-12. <https://doi.org/10.13037/ras.vol13n45.2838>
7. Santos DG, Pegoraro ASN, Abrantes CV, Jakaitis F, Gusman S, Bifulco SC. Avaliação da mobilidade funcional do paciente com sequela de AVC após tratamento na piscina terapêutica, utilizando o teste Timed Up and Go. *Einstein* 2011;9(3):302-6.
8. Yoneyama M, Kurihara Y, Watanabe K, Mitoma, H. Accelerometry-based gait analysis and its application to Parkinson's Disease assessment - Part 1: Detection of stride event. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2014;22(3). <https://doi.org/10.1109/tnsre.2013.2260561>
9. Zago M, Sforzac C, Pacici I, Cimolina V, Camerota F, Celletti C, Condolucif C, Pandisg MF, Gallia M. Gait evaluation using inertial measurement units in subjects with Parkinson's disease. *J Electromyogr Kinesiol* 2018;42:44-8. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2018.06.009>
10. Weiss A, Herman T, Giladi N, Hausdorff JM. New evidence for gait abnormalities among Parkinson's disease patients who suffer from freezing of gait: insights using a body-fixed sensor worn for 3 days. *J Neural Transm* 2015;122(3):403-10. <https://doi.org/10.1007/s00702-014-1279-y>
11. Santos AF, Duarte MA, Arencibia RV, Marques VA. Aplicação de acelerômetros de baixo custo em sistemas automatizados de medição. 20º Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia; 2007.
12. Junior JBT, Silva DC. Sistema de georreferenciamento direto para câmara de pequeno formato com sincronismo GPS. 2010. [Dissertação]. Recife/PE: UFPE, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação; 2010.
13. Magarreiro J. Protocolo de recolha e processamento de dados 3D cinemáticos e cinéticos da marcha em regime laboratorial e ambulatório. [Dissertação]. Setúbal: Instituto Politécnico de Setúbal; 2014.
14. Silva RP. Inatividade física e fatores associados em adultos comparação entre o questionário internacional de atividade física e a acelerometria. [Dissertação]. Santos/SP: UNIFESP, Instituto de Saúde e Sociedade; 2015.
15. Alves RV, Mota J, Costa MC, Alves JGB. Aptidão física relacionada à saúde de idosos: influência da hidroginástica. *Rev Bras Med Esporte* 2004;10(1):21-39. <https://doi.org/10.1590/s1517-86922004000100003>
16. Da Silva A, Almeida GJM, Cassilhas RC, Cohen M, Peccin MS, Tufik S, De Mello MT. Equilíbrio, coordenação e agilidade de idosos submetidos à prática de exercícios físicos resistidos. *Rev Bras Med Esporte* 2008;14(2):88-93. <https://doi.org/10.1590/s1517-86922008000200001>
17. Carregaro RL, Toledo AM. Efeitos fisiológicos e evidências científicas da eficácia da fisioterapia aquática. *Revista Movimenta* 2008;1(1):6.
18. Caromano FA, Themudo Filho MRF, Candeloro JM. Efeitos fisiológicos da imersão e do exercício na água. *Fisioter Bras* 2003;4(1):65-74. <https://doi.org/10.33233/fb.v4i1.3001>
19. Greco-Otto P, Baggaley M, Edwards WB, Léguillette R. Water treadmill exercise reduces equine limb segmental accelerations and increases shock attenuation. *BMC Vet Res* 2019;15(1):329. <https://doi.org/10.1186/s12917-019-2075-6>
20. Mann L, Teixeira CS, Pranke GI, Rossi AG, Lopes LF, Mota CB. Equilíbrio estático de idosas praticantes de hidroginástica. *Anais do XII Congresso Brasileiro de Biomecânica* 2007; Estância de São Pedro, Brasil. Rio Claro, UNESP; 2007.
21. Resende SM, Rassi CM, Viana FP. Efeitos da hidroterapia na recuperação do equilíbrio e prevenção de quedas em idosas. *Rev Bras Fisioter* 2008;12(1):57-63. <https://doi.org/10.1590/s1413-35552008000100011>