

Jogos com tecnologia vestível como estímulo à saúde dos pés – avaliação de usabilidade

Gaming with wearable technology to stimulate foot health – usability assessment

Juegos con tecnología portátil para estimular la salud de los pies – evaluación de usabilidad

Gilda Aparecida de Assis¹, João Guilherme Mendanha Alves²
Ana Grasielle Dionísio Correa³, Bruno da Silva Rodrigues³

1 Professora Adjunta, Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Computação e Sistemas, João Monlevade (MG), Brasil

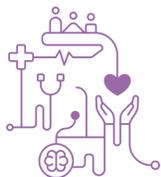
2 Graduando, Sistemas de Informação, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade (MG), Brasil.

3 Docente, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Faculdade de Computação e Informática, São Paulo (SP), Brasil.

Autor correspondente: Prof. Dr. Dr. Gilda Aparecida de Assis
E-mail: gildaadaa@ufop.edu.br

Resumo

Objetivo: Avaliar a usabilidade de jogos digitais controlados por sensores acoplados a uma papete (sandália) e analisar os aspectos relevantes para a utilização deles na recuperação e manutenção do nível de atividade física dos participantes. **Método:** Realizou-se um estudo dos principais exercícios para reabilitação do pé e foram desenvolvidos dois jogos controlados pela papete para dorsiflexão e flexão plantar. Os testes foram realizados com 20 participantes. **Resultados:** A análise dos arquivos de log do jogo 1 mostrou diferença nos sinais esperados para dorsiflexão. A análise dos vídeos dos pés mostrou que o repouso do pé foi classificado como dorsiflexão no jogo. **Conclusão:** Jogos controlados por vestíveis são uma estratégia promissora para uso



terapêutico de membro inferior e podem ser úteis para os terapeutas, promovendo a aquisição de conhecimentos sobre a execução dos exercícios pelos pacientes.

Descritores: Jogos de computador; Dispositivos Eletrônicos Vestíveis; Extremidade Inferior

Abstract

Objective: To evaluate the usability of digital games controlled by sensors attached to a sandal and analyze the relevant aspects for their use in recovering and maintaining the participants' level of physical activity. **Method:** A study of the main exercises for foot rehabilitation was carried out and two games controlled by the sandal were developed for dorsiflexion and plantar flexion exercises. The tests were carried out with 20 participants.

Results: Analysis of game 1 log files showed a difference in the expected signals for dorsiflexion. Foot video analysis showed that foot rest was classified as dorsiflexion in the game. **Conclusion:** Games controlled by wearables are a promising strategy for therapeutic use of the lower limb and can be useful for therapists, promoting the acquisition of knowledge about the execution of exercises by patients.

Keywords: Computer Games; Wearable Electronic Devices; Lower Extremity

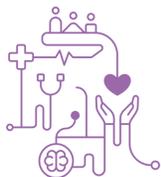
Resumen

Objetivo: Evaluar la usabilidad de juegos digitales controlados por sensores acoplados a una zapatilla y analizar los aspectos relevantes para su uso en la recuperación y mantenimiento del nivel de actividad física. **Método:** Se realizó un estudio de ejercicios para la rehabilitación del pie y se desarrollaron dos juegos controlados por el zapatilla para dorsiflexión y flexión plantar. Las pruebas se llevaron a cabo con 20 participantes.

Resultados: El análisis de los archivos de registro del juego 1 mostró diferencia en las señales esperadas para la dorsiflexión. El análisis del vídeo del pie mostró que el apoyo del pie se clasificó como dorsiflexión. **Conclusión:** Los juegos controlados por vestibles son una estrategia prometedora para el uso terapéutico del miembro inferior y pueden ser

J. Health Inform. 2024, Vol. 16 Especial - ISSN: 2175-4411 - jhi.sbis.org.br

DOI: 10.59681/2175-4411.v16.iEspecial.2024.1252



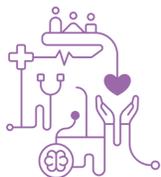
útil para los terapeutas, promoviendo la adquisición de conocimientos sobre la ejecución de ejercicios por los pacientes.

Descritores: Jogos de Computadora; Dispositivos Eletrônicos Vestíveis; Extremidade Inferior

Introdução

Jogos para estimular o indivíduo a se exercitar são denominados *exergames* e podem proporcionar uma experiência imersiva para a manutenção e melhoria das funções físicas e cognitivas. Os *exergames* utilizam câmeras e/ou sensores para detectar os movimentos corporais do indivíduo, os quais funcionam como interface com o jogo, promovendo uma mudança na forma de enxergar os videogames, até então vistos como fonte de sedentarismo⁽¹⁾. Existem diversos *exergames* para plataformas disponíveis comercialmente como Kinect Xbox e Wii Balance Board, dotados de sensores, que capturam os movimentos dos segmentos corporais e os utilizam para controlar o jogo. O uso destas plataformas com os *exergames* tem sido largamente explorado na reabilitação física, seja em centros de reabilitação ou mesmo de forma domiciliar, com orientações dos profissionais de saúde⁽²⁻³⁾. Porém, estas combinações de hardware e software são limitadas quanto ao rastreamento de movimentos finos, como movimentos das mãos e pés e não são facilmente adaptáveis a pessoas com deficiências motoras, como espasticidade, por exemplo, e não mostram informações relevantes para avaliar o progresso do paciente, como frequência e tempo de cada movimento, o que torna difícil a aplicação destes jogos em tratamentos fisioterapêuticos⁽⁴⁾.

Para superar essas limitações dos jogos desenvolvidos exclusivamente para entretenimento e disponíveis no mercado, têm sido propostos jogos sérios para uso terapêutico na reabilitação física⁽⁵⁻⁹⁾. Os jogos sérios são aqueles jogos computacionais que não têm o entretenimento como seu único objetivo, podendo ser utilizados em diferentes áreas do conhecimento e contextos, com diferentes públicos e finalidades⁽¹⁰⁾.



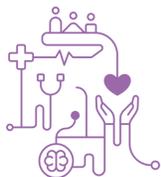
Esses jogos sérios têm sido utilizados para a aquisição e manutenção de habilidades sensório-motoras e reabilitação física, com o intuito de incorporar entretenimento, cativar e aumentar o engajamento em um processo que tradicionalmente envolve exercícios físicos repetitivos e que podem causar tédio, com risco de abandono da terapia ⁽¹¹⁾.

Nos últimos anos, têm sido desenvolvidos sensores portáteis, de baixo custo, para aquisição de dados do usuário em tempo real, que têm sido incorporados em elementos de uso cotidiano como acessórios, relógios, roupas e calçados, nomeados como dispositivos vestíveis. Essas tecnologias têm potencial para alterar a prática clínica da reabilitação, possibilitando a quantificação do comportamento motor em diferentes populações e identificação de biomarcadores motores, com os dados registrados nesses sistemas representando um caminho para a medicina personalizada e de precisão ⁽¹²⁾.

Um dos grandes responsáveis pela popularização dos dispositivos vestíveis são os chamados rastreadores *fitness* ou rastreadores de atividades, que permitem monitorar informações sobre qualidade de sono, número de passos dados, distância percorrida e frequência cardíaca durante as atividades diárias do usuário ⁽¹³⁾. As mesmas abordagens adotadas nos dispositivos vestíveis, usados como rastreadores *fitness*, passaram a ser empregadas na reabilitação de pacientes pós-operatórios musculoesqueléticas ⁽¹⁴⁾, no tratamento de pacientes de paralisia cerebral e acidente vascular encefálico ⁽¹⁵⁾, na reeducação do controle postural ⁽⁷⁾, no monitoramento de indivíduos acometidos por doença de Parkinson ⁽¹⁶⁾ e no monitoramento da progressão de doenças crônicas ⁽¹⁷⁾.

As vantagens do uso de jogos sérios e dispositivos vestíveis na reabilitação física em relação à reabilitação convencional vão além dos custos, pois fornecem tratamento personalizado que vai ao encontro das necessidades físicas e cognitivas de cada paciente; permitem obter medidas quantitativas de progresso; fornecem *feedback* de desempenho em tempo real por meio de modalidades multissensoriais; e aumentam o engajamento do paciente, bem como sua motivação e autoestima ⁽¹⁸⁾.

Recentemente, pesquisadores desenvolveram um dispositivo de interação denominado “papete inteligente” que consiste em um calçado do tipo *papete* equipado



com acelerômetros embarcados, usado para detectar a movimentação do pé, conectado a um jogo sério para ser utilizado com crianças com pé torto congênito ⁽¹⁹⁾.

Para que haja uma diversidade maior de jogos computacionais para uso com vestíveis para os pés, são necessários avanços na compreensão dos designs de jogos e configurações de uso mais adequados para esse fim, de forma a causar menos fadiga, ser mais precisos (relação da amplitude de movimento com o *feedback* do jogo) e proporcionar mais satisfação no uso para os jogadores. Além disso, é importante analisar os jogos digitais para membro inferior acoplados a tecnologias vestíveis, a partir da perspectiva da Interação Humano-Computador, identificando as necessidades dos potenciais usuários.

A justificativa para essa investigação se deu a partir do panorama atual dos jogos digitais aplicados à saúde. Ainda se faz necessário explorar o desenvolvimento desses jogos e analisar a interação do usuário com este tipo de interface, buscando um amadurecimento desta tecnologia para que futuramente possa oferecer uma boa experiência de uso e ser útil para proporcionar aos usuários aprendizagem e estímulo a comportamentos de autogerenciamento em saúde.

Neste contexto, os objetivos desta pesquisa são (i) avaliar a usabilidade, satisfação e fadiga dos usuários em diferentes jogos sérios controlados por sensores acoplados a uma papete através de um ensaio transversal com participantes saudáveis; (ii) identificar os aspectos relevantes a serem considerados para a utilização desse recurso metodológico para manutenção e reabilitação dos movimentos dos pés, priorizando a usabilidade como parte fundamental da experiência do usuário. E para aprofundamento no assunto formulou-se a pergunta norteadora: Que diferentes designs de jogos digitais controlados por um calçado inteligente podem desencadear percepções de fadiga e de satisfação diferentes nos participantes considerando a usabilidade como aspecto central?



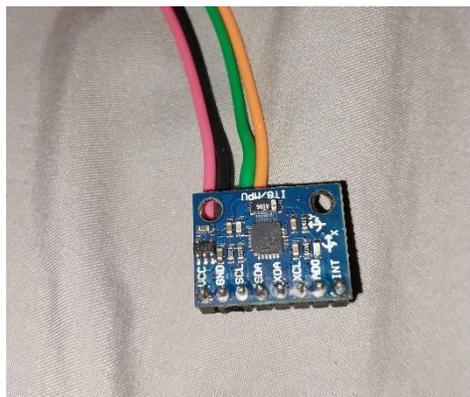
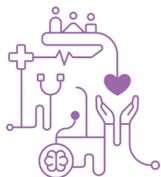
Método

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos sob número CAAE 69324823.8.0000.5150. A pesquisa tem uma linha de atuação principal relacionada a análise de interação de jogos computacionais controlados por uma papete com sensores embarcados. De modo geral, o projeto seguiu as seguintes etapas: 1) Identificação dos principais movimentos de reabilitação para os pés; 2) Configuração e testes em laboratório do jogo sério e da papete inteligente propostos em ⁽¹⁹⁾; 3) Projeto e implementação de um jogo sério controlado pela papete inteligente com design de interação diferente do jogo descrito em ⁽¹⁹⁾; 4) Recrutamento e seleção de participantes para a avaliação dos jogos digitais e da análise da interação; 5) Testes com os participantes da pesquisa; 6) Consolidação e análise dos dados coletados.

Na primeira etapa da pesquisa, a partir de relatos da vivência de um fisioterapeuta que fornece atendimento a crianças com pé torto congênito, foram identificados os movimentos de flexão dorsal e flexão plantar para os pés. A flexão dorsal ou dorsiflexão é o movimento de aproximar o dorso do pé à tíbia no plano sagital, assim como a flexão plantar ou plantiflexão é o movimento afastar o dorso do pé à tíbia também no plano sagital.

Na segunda etapa, foram realizados testes no hardware (papete inteligente) para a equipe se familiarizar com seu funcionamento. O hardware é composto por um sensor de medida inercial e um processador Arduino UNO (Figura 1). Os testes realizados consistiram em conectar o Arduino no computador via USB e analisar as medidas do sensor e o resultado do processamento do Arduino através do software Monitor Serial da IDE. Verificou-se que o hardware não apresentava problemas em seu funcionamento.

Figura 1 – Hardware: Modulo do acelerômetro MPU-6050 (1) e Arduino Uno (2).



(1)

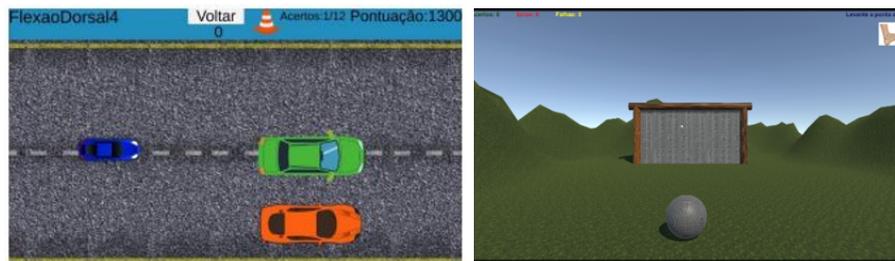


(2)

Ainda na segunda etapa foram realizados testes em laboratório com o jogo sério chamado Acelera e a papete inteligente⁽¹⁹⁾. Para o funcionamento do jogo foi adotada a mesma versão da plataforma Unity na qual o jogo foi desenvolvido. O jogo consiste em uma pista com carros e obstáculos como cones e buracos. O objetivo do jogador é controlar um carro e desviar de obstáculos para pontuar. Os obstáculos foram cuidadosamente posicionados na pista para permitir que o jogador permanecesse o tempo necessário com o pé flexionado na posição plantar ou dorsal e em repouso (Figura 2a).

Na terceira etapa, foi projetado e implementado um novo jogo sério denominado Chute ao Gol (Figura 2b). O objetivo do jogo é acertar um um dos cantos de um gol. Para que o jogador vá até a bola e chute na direção apontada é necessário que seja mantido o movimento para o lado certo pela quantidade de tempo necessária, controlado pela papete. Por questões de compatibilidade e comparabilidade, o desenvolvimento foi realizado na plataforma Unity, na mesma versão de desenvolvimento do primeiro jogo Acelera.

Figura 2 – (a) Jogo Acelera⁽¹⁹⁾; (b) Jogo Chute ao Gol

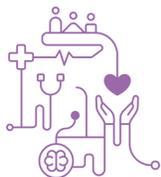


Na quarta etapa foi enviado um *e-mail* convite para estudantes e professores de dois cursos da área de tecnologia de uma mesma instituição de ensino. Dentre os participantes que compareceram ao local nas datas estabelecidas, foram incluídos no estudo os participantes que satisfazem os seguintes critérios de inclusão: maior de 18 anos, ambos os sexos, ensino fundamental completo, capacidade de locomoção sem auxílio e movimentos de flexão, eversão e inversão plantar preservados.

Na quinta etapa foi realizado o estudo transversal com amostra por conveniência. Um total de 20 participantes concordaram em participar do estudo e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido. Os participantes foram divididos em dois grupos com 10 participantes (grupo A e grupo B), onde o grupo A testou o jogo Acelera e o grupo B testou o jogo Chute ao Gol. Todos os testes foram conduzidos pelo pesquisador principal e o pesquisador assistente. O processo de aquisição dos sinais, através dos sensores integrados à papete, foi realizado em uma sala reservada e para evitar quedas e acidentes, o participante permaneceu todo o tempo sentado frente ao computador.

Os participantes responderam a um questionário pré-teste para caracterização do participante quanto à experiência com jogos digitais e tecnologias vestíveis e quanto ao seu nível de atividade física (frequência, duração e intensidade) utilizando a Saltin-Grimby Physical Activity Level Scale ⁽²⁰⁾. O questionário também abordou questões relacionadas ao histórico clínico dos membros inferiores do participante, incluindo acidentes, lesões, cirurgias, reabilitação e patologias existentes que podem afetar os pés como diabetes, esclerose múltipla, pé torto congênito, artrose e fascite plantar.

Na sequência, o pesquisador instruiu os participantes sobre a interação com o jogo e eles foram orientados a vestir a papete no pé dominante (Figura 4). Foram realizadas



gravações da tela do notebook e do pé do participante - realizando movimentos no plano sagital - para fins de análise de dados.

Figura 4 –Papete inteligente



Ao término do uso do jogo foi solicitado ao participante que preenchesse o questionário pós-teste referente ao experimento para coletar dados sobre a fadiga e satisfação de interação. Para a percepção da fadiga foi utilizado o questionário padronizado de Chalder, utilizado para medir a fadiga física e mental ⁽²¹⁾.

Na última etapa, foram analisados os arquivos de log dos testes de forma a extrair o total e a duração dos sinais enviados pela papete (flexão dorsal, flexão plantar e repouso) bem como a taxa de amostragem. Os registros em vídeo dos movimentos dos pés foram editados para que houvesse uma sincronização temporal com os arquivos de log de forma a comparar os arquivos de log, os vídeos e o desempenho registrado no jogo.

Resultados e Discussões

Contribuíram com o estudo um total de 20 participantes com média de idade 21,75 ± 6,40 anos, sendo 17 do gênero masculino e 03 femininos com 85% de dominância direita. Desses, 10 participantes responderam que realizam alguma atividade física leve por pelo menos 4 horas/semana, 04 responderam que realizam atividade física regular 2-3 vezes por semana, 03 que realizam treino forte para competição e 02 se consideram completamente inativos. Nenhum dos participantes relatou ter algum tipo de intervenção



cirúrgica nos membros inferiores e um participante informou que possui deficiência auditiva. O protocolo adotado para ambos os jogos foram 24 exercícios, sendo metade de flexão dorsal e metade flexão plantar.

Os arquivos de registro de sinais recebidos (log) e os vídeos dos participantes foram analisados para extrair a duração do teste, o percentual de sinais de flexão dorsal, percentual de sinais de flexão plantar e a taxa de amostragem em Hertz. A Tabela 1 sumariza os dados do jogo Acelera.

Tabela 1 – Testes com o jogo Acelera

Participante	Duração (min)	Percentual de sinais flexão plantar	Percentual de sinais flexão dorsal	Taxa de amostragem (Hz)	Total sinais
1	10,54	27	73	1,97	1246
2	11,14	17	83	1,93	1291
3	10,49	23	77	1,98	1247
4	10,55	35	65	1,96	1246
5	12,42	23	77	1,96	1461
6	10,55	27	73	1,9	1255
7	10,54	38	62	1,98	1256
8	10,57	52	47	1,96	1246
9	10,59	23	73	2	1272
10	12,25	56	46	1,98	1461

O jogo foi configurado para gerar o mesmo número de interações de flexão dorsal e flexão plantar. Entretanto, observa-se que há uma diferença entre o percentual de sinais da flexão plantar (média 32,1% ± 13,07) e os sinais que representam a flexão dorsal (média 67,6% ± 12,60). Essa diferença de valores ocorreu devido à classificação do software embarcado. Nos vídeos dos pés, observou-se que, para todos os 10 participantes, quando era esperado sinais de neutralidade do pé, ou seja, quando o pé estava em repouso, a papete enviou sinais de flexão dorsal. Vale ressaltar que os participantes 8 e 10 tiveram taxas similares devido a forma que eles executaram seus testes, mantendo seus pés em posição de flexão plantar por um período maior de tempo,



como foi observado nos vídeos sincronizados. A Tabela 2 sumariza os dados do jogo Chute ao Gol.

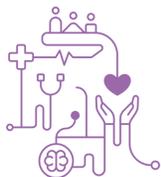
Tabela 2 – Testes com o jogo Chute ao Gol

Participante	Duração (min)	Percentual de sinais flexão plantar	Percentual de sinais flexão dorsal	Taxa de amostragem (Hz)	Total sinais
1	6,1	45	55	1,96	720
2	5,57	50	50	2,08	698
3	5,55	38	62	2,04	680
4	6,11	46	54	1,91	703
5	6	38	62	1,97	711
6	6,06	44	56	1,9	691
7	5,59	40	60	2,01	702
8	6,01	51	49	1,92	695
9	5,53	42	58	2,1	698
10	5,49	51	49	2,13	704

Em contrapartida aos resultados obtidos no jogo Acelera, o percentual de sinais que representam a flexão plantar (média 44,5% \pm 5,03) e os sinais que representam a flexão dorsal (média 55,5% \pm 5,03) são próximos, provavelmente pelo design adotado no jogo Chute ao Gol, uma vez que o jogo determina qual exercício deve ser feito e o tempo que ele deve ser realizado, limitando a tomada de decisão do participante.

As taxas de amostragem dos jogos foram próximas, o Acelera teve média 1,96 \pm 0,02 e o Chute ao Gol 2,00 \pm 0,08, o que mostra estabilidade do hardware durante a coleta de dados.

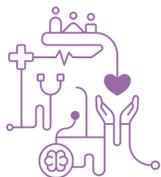
As respostas do formulário pós-teste foram analisadas quanto às questões de investigação: satisfação do usuário, conforto, fadiga e design. Quanto ao conforto, 19 participantes se sentiram confortáveis no uso do vestível e apenas um jogador manifestou desconforto durante o uso. Ao analisar o vídeo sincronizado do participante que se sentiu desconfortável, percebeu-se que seu pé era maior que o vestível, sendo essa uma possível causa do incômodo. Quanto à fadiga, na questão “Precisei descansar mais”, um participante do jogo Chute ao Gol relatou a necessidade de sempre descansar um pouco



mais entre um exercício e outro; um participante do jogo Acelera informou que às vezes foi necessário descansar um pouco mais. Ao analisar o perfil deste participante, foi observado que ele tinha a maior idade da amostra, 48 anos. A partir dessas respostas, percebe-se que ambos os jogos apresentam resultados similares quanto à percepção de esforço físico pelos jogadores.

Para avaliar a satisfação do jogador, foram coletados dados sobre engajamento, dificuldade de uso e frustração. Quanto ao engajamento do usuário no jogo Acelera, 80% dos voluntários se sentiram concentrados e o restante raramente concentrados ou desconcentrados. No jogo Chute ao Gol, 100% dos participantes relataram que se sentiram concentrados todo o tempo. Quanto à dificuldade do jogo, 90% dos participantes acharam o jogo Acelera muito fácil ou fácil e um participante considerou que o jogo apresenta dificuldade média. Todos os participantes do teste com Chute ao Gol acharam o jogo muito fácil ou fácil. Quanto à frustração durante o jogo Acelera, 40% dos voluntários se sentiram frustrados por perceberem que ao manterem o pé em posição neutra o jogo interpretava como flexão dorsal. Cerca de 30% dos usuários que jogaram Chute ao Gol também se sentiram frustrados com a lentidão da atualização. Ao analisar os vídeos dos pés, percebeu-se em metade dos vídeos, quando os jogadores cometiam um erro de movimento que deveria ser computado no jogo, o jogo Chute ao Gol não reconhecia o erro.

Quanto ao design do jogo Acelera, 50% dos participantes se queixaram da velocidade das animações do carro. Esse problema pode ter sido ocasionado pela baixa taxa de amostragem. Como o movimento do carro depende do sinal enviado para se mover pela pista, sua animação é afetada pelo baixo número de sinais que são recebidos por segundo. Foram sugeridas melhorias para o jogo Acelera, como *ranking* de pontuação dos jogadores, melhoria nos desenhos da pista e do carro. Para o Chute ao Gol, as melhorias para o design do jogo foram uma barra de progresso para saber o quanto falta para a bola ser chutada e definição pelo usuário da direção da bola.



Conclusão

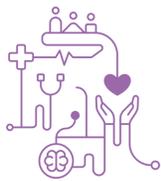
Os resultados do estudo apontam que ambos os jogos sérios demonstraram uma usabilidade positiva com relação à satisfação, indicando, assim, potencial para serem adotados como recurso terapêutico para manutenção, aquisição ou recuperação de habilidades motoras dos pés. Percebeu-se que, em relação ao conforto, fadiga e satisfação do usuário, ambos os jogos geraram percepções similares. No entanto, em relação ao design dos jogos digitais para prática de exercícios com os pés, observou-se que uma taxa de amostragem baixa favoreceu o design na interação com o jogo Chute ao Gol, sugerindo que a usabilidade desempenhou um papel significativo na experiência do usuário.

Agradecimentos

Agradecimentos à Agência Financiadora Fapemig pelas bolsas de pesquisa.

Referências

1. Brito RD de, Shumiski RC, Santos VR, Moreira RSL. Jogos experimentais como ferramenta de educação em saúde para cardiopatas adultos - Revisão Integrativa. J Health Inform [Internet]. 3º de outubro de 2022 [citado 15º de janeiro de 2024];14(2). Disponível em: <https://jhi.sbis.org.br/index.php/jhi-sbis/article/view/962>.
2. Ingadottir B, Jaarsma T, Klompstra L, Aidemark J, Askenäs L, Bahat Y, et al. Let the games begin: Serious games in prevention and rehabilitation to improve outcomes in patients with cardiovascular disease [Internet]. Vol. 19, European Journal of Cardiovascular Nursing. Oxford University Press (OUP); 2020. p. 558–60. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/1474515120934058>
3. Bang, Y.-S., Son, K. H., & Kim, H. J. (2016). Effects of virtual reality training using Nintendo Wii and treadmill walking exercise on balance and walking for stroke patients. In Journal of Physical Therapy Science (Vol. 28, Issue 11, pp. 3112–3115). Society of Physical Therapy Science. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.3112>
4. Burdea, G. C., Grampurohit, N., Kim, N., Polistico, K., Kadaru, A., Pollack, S., Oh-Park, M., Barrett, A. M., Kaplan, E., Masmela, J., & Nori, P. (2019). Feasibility of integrative games and novel therapeutic game controller for telerehabilitation of individuals chronic post-stroke living in the community. In Topics in Stroke Rehabilitation (Vol. 27, Issue 5, pp. 321–336). Informa UK Limited. <https://doi.org/10.1080/10749357.2019.1701178>



5. Tannus J, Cyrino G, Lamounier E, Cardoso A, Soares A. Geometric and Behavioral Modeling Techniques in Construction of a Virtual Environment for Rehabilitation of Post-CVA Patients through a Serious Game [Internet]. 2018 20th Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR). IEEE; 2018. Available from: <http://dx.doi.org/10.1109/SVR.2018.00044>
6. Tageldeen MK, Elamvazuthi I, Perumal N, Ganesan T. A virtual reality based serious games for rehabilitation of arm [Internet]. 2017 IEEE 3rd International Symposium in Robotics and Manufacturing Automation (ROMA). IEEE; 2017. Available from: <http://dx.doi.org/10.1109/ROMA.2017.8231737>
7. Carvalho P, Queiros S, Moreira A, Brito JH, Veloso F, Terroso M, et al. Instrumented vest for postural reeducation [Internet]. 2017 IEEE 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH). IEEE; 2017. Available from: <http://dx.doi.org/10.1109/SeGAH.2017.7939300>
8. Alexandre R, Postolache O, Girao PS. Physical Rehabilitation based on Smart Wearable and Virtual Reality Serious Game [Internet]. 2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC). IEEE; 2019. Available from: <http://dx.doi.org/10.1109/I2MTC.2019.8826947>
9. Monge J, Postolache O. Augmented Reality and Smart Sensors for Physical Rehabilitation [Internet]. 2018 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE). IEEE; 2018. Available from: <http://dx.doi.org/10.1109/ICEPE.2018.8559935>
10. Michael D, Sande Chen. Serious games: games that educate, train, and inform. Mason, Ohio: Course Technology; 2011
11. Fu Y, Li Q, Ma D. User Experience of a Serious Game for Physical Rehabilitation Using Wearable Motion Capture Technology [Internet]. Vol. 11, IEEE Access. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE); 2023. p. 108407–17. Available from: <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3320947>
12. Porciuncula, F., Roto, A. V., Kumar, D., Davis, I., Roy, S., Walsh, C. J., & Awad, L. N. (2018). Wearable Movement Sensors for Rehabilitation: A Focused Review of Technological and Clinical Advances. In PM&R (Vol. 10, Issue 9S2). Wiley. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2018.06.013>
13. Kaewkannate K, Kim S. A comparison of wearable fitness devices [Internet]. Vol. 16, BMC Public Health. Springer Science and Business Media LLC; 2016. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s12889-016-3059-0>
14. Ianculescu M, Andrei B, Alexandru A. A Smart Assistance Solution for Remotely Monitoring the Orthopaedic Rehabilitation Process Using Wearable Technology: re.flex System [Internet]. Vol. 28, Studies in Informatics and Control. ICI Bucharest; 2019. Available from: <http://dx.doi.org/10.24846/v28i3y201908>



15. Bhattacharyya A, Mazumder O, Chakravarty K, Chatterjee D, Sinha A, Gavas R. Development of an interactive gaming solution using MYO sensor for rehabilitation [Internet]. 2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI). IEEE; 2018. Available from: <http://dx.doi.org/10.1109/ICACCI.2018.8554686>
16. Daneault JF, Vergara-Diaz G, Parisi F, Admati C, Alfonso C, Bertoli M, et al. Accelerometer data collected with a minimum set of wearable sensors from subjects with Parkinson's disease [Internet]. Vol. 8, Scientific Data. Springer Science and Business Media LLC; 2021. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41597-021-00830-0>
17. Vijayan V, Connolly JP, Condell J, McKelvey N, Gardiner P. Review of Wearable Devices and Data Collection Considerations for Connected Health [Internet]. Vol. 21, Sensors. MDPI AG; 2021. p. 5589. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/s21165589>
18. Abdel Ghafar MA, Abdelraouf OR. Effect Of Virtual Reality Versus Traditional Physical Therapy On Functional Balance In Children With Down Syndrome: A Randomized Comparative Study [Internet]. Vol. 5, International Journal of Physiotherapy and Research. I MED Research Publications; 2017. p. 2088–94. Available from: <http://dx.doi.org/10.16965/ijpr.2017.146>
19. Ferreira, D. R., Baptista, C. K., Rodrigues, B. da S., Siqueira, B. C., Blascovi-Assis, S. M., & Corrêa, A. G. (2021). Development and Test of a Serious Game for Dorsiflexion and Plantarflexion Exercises of the Feet. In Journal on Interactive Systems (Vol. 12, Issue 1, pp. 58–68). Sociedade Brasileira de Computacao - SB. <https://doi.org/10.5753/jis.2021.1916>
20. Grimby, G., Börjesson, M., Jonsdottir, I. H., Schnohr, P., Thelle, D. S., & Saltin, B. (2015). The “Saltin–Grimby Physical Activity Level Scale” and its application to health research. In Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports (Vol. 25, Issue S4, pp. 119–125). Wiley. <https://doi.org/10.1111/sms.12611>
21. Chalder, T., Berelowitz, G., Pawlikowska, T., Watts, L., Wessely, S., Wright, D., & Wallace, E. P. (1993). Development of a fatigue scale. In Journal of Psychosomatic Research (Vol. 37, Issue 2, pp. 147–153). Elsevier BV. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(93\)90081-p](https://doi.org/10.1016/0022-3999(93)90081-p)