

Desenvolvimento de um Jogo Sério Controlado por Dispositivo Wearable para Exercícios de Dorsiflexão e Flexão Plantar

Daniel Rogério de M J Ferreira
Programa de Pós-Graduação em
Distúrbios do Desenvolvimento
Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
daniel.ferreira@mackenzie.br

Caio Kaufman Dias Baptista
Faculdade de Computação e Informática
Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
adriano.rapussi@gmail.com

Bruno da Silva Rodrigues
Faculdade de Computação e Informática
Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
bruno.rodrigues@mackenzie.br

Silvana Maria Blascovi-Assis
Programa de Pós-Graduação em
Distúrbios do Desenvolvimento
Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
silvanablascovi@mackenzie.br

Ana Grasielle Dionísio Corrêa
Programa de Pós-Graduação em
Distúrbios do Desenvolvimento
Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
ana.correa@mackenzie.br

Resumo—A literatura mostra que os jogos sérios são capazes de melhorar as habilidades físicas e cognitivas das pessoas. Jogos sérios são projetados de forma a estimular movimentos motores repetitivos em vista a melhorar a capacidade funcional para as atividades básicas e instrumentais da vida diária. Este artigo mostra o projeto e o desenvolvimento de um jogo de obstáculos para exercícios de dorsiflexão e flexão plantar dos pés. A execução dos exercícios e controle do jogo é realizada com o uso de um dispositivo wearable (papete) onde acelerômetros são responsáveis por detectar a movimentação do pé. Um teste piloto foi realizado com 2 crianças com e sem Pé Torto Congênito (PTC) para examinar a viabilidade do dispositivo wearable como entrada para o jogo. Os resultados mostram que ambas as crianças reagiram da mesma forma às propostas, procurando cumprir os objetivos de cada fase do jogo, executando os movimentos necessários para recrutamento motor dos músculos relacionados a perna e ao pé e manutenção da amplitude de movimento articular do tornozelo.

Palavras-Chave—wearable, dorsiflexão, flexão plantar, reabilitação motora, gameterapia

I. INTRODUÇÃO

O uso de videogames como ferramenta de apoio no processo de reabilitação ganhou força nos últimos anos emergindo uma nova área de pesquisa denominada gameterapia. A literatura mostra evidências de que os jogos podem melhorar as capacidades físicas e cognitivas das pessoas [1]-[5]. Entre elas está o estudo relatado por [3] que utilizaram o Nintendo® Wii Balance Board® para melhorar o equilíbrio de pacientes com lesão cerebral através de exercícios motivacionais e adaptativos. Os resultados experimentais mostraram que, após 20 sessões de reabilitação, os pacientes que usaram o jogo tiveram uma melhora significativa no equilíbrio estático em comparação aos pacientes submetidos à terapia tradicional. Em outro estudo, o videogame Xbox 360 Kinect® foi usado para melhorar a força muscular e o equilíbrio de idosos saudáveis. Os resultados deste estudo indicaram que a marcha, a força muscular e a função motora melhoraram nos participantes do grupo de intervenção comparado ao grupo controle, após 24

intervenções [4]. O Nintendo® Wii Balance Board® foi utilizado em estudo recente para melhorar o equilíbrio e desempenho da caminhada em pacientes submetidos à ressecção e reconstrução do joelho causado por tumor primário ósseo. As sessões de reabilitação com o jogo foram realizadas duas vezes ao dia, durante 25 minutos de treinamento para controle postural e proprioceptivo. Os autores concluíram que houve melhora na velocidade de caminhada e controle postural na posição de pé no grupo experimental em comparação ao grupo controle [5].

Os videogames comerciais mais comumente usados em sessões de gameterapia são Nintendo® Wii, Kinect 360 e Playstation, mas estas tecnologias ainda não permitem estimular movimentos de dorsiflexão e flexão plantar dos pés, de forma seletiva e específica. Sabe-se que os pés constituem uma base para corpo humano e têm como funções promover estabilidade, transmissão de forças e locomoção, dentre outras. Portanto, uma lesão ou malformação congênita em alguma das estruturas desta área do corpo, pode comprometer a relação mecânica e o equilíbrio corporal e prejudicar significativamente o desempenho, causando fadiga precoce, dores, sobrecarga de outros segmentos, além de comprometer a marcha e outras funções motoras relacionadas ao cotidiano do indivíduo [6], [7]. Para evitar que isto aconteça, é necessário que o tratamento dos membros inferiores inicie o mais precocemente possível, ele costuma ser intenso e repetitivo, principalmente nos primeiros meses, devendo ser realizado por equipe profissional habilitada, com fisioterapeuta e acompanhamento médico, por meio de sessões diárias, com a duração de cinquenta minutos ou semanais, dependendo principalmente da gravidade dos pés. Com as correções obtidas, as visitas passam a ser quinzenais, mensais, e semestrais, porém é necessário que o acompanhamento seja de quatro a oito anos, em alguns casos podendo chegar a dez anos, a fim de evitar a ocorrência de recidivas [8], [9]. A possibilidade de incorporar jogos sérios nesse processo pode trazer importantes benefícios, como favorecer a motivação para o recrutamento repetido dos músculos agonistas e sinergistas dos movimentos do tornozelo

e pé, de forma criativa, lúdica e interativa, evitando que a tarefa se torne enfadonha e repetitiva para a criança.

Algumas tecnologias podem ser aplicadas na reabilitação dos pés. O Dance Dance Revolution [10], por exemplo, utiliza técnicas para receber sinais do movimento do pé do usuário, mas é limitado em relação à forma e posição em que os pés tocam o chão e não serviria para estimular exercícios específicos de dorsiflexão e flexão plantar. O jogo PONG [1], com dois sensores de eletromiografia (EMG) de superfície para exercícios de dorsiflexão e flexão plantar dos pés foi adaptado e associado com sensores eletromiografia (EMG), utilizados para adquirir atividade muscular dos músculos tibial anterior e gastrocnêmio. No entanto, o equipamento de EMG não é acessível financeiramente para as clínicas de reabilitação, tampouco para o público em geral devido aos seu alto custo para aquisição.

Apesar das soluções propostas, é notável a necessidade de se criar uma maneira direta de comando do jogo, em sincronia imediata com os movimentos gerados pelo pé, sem depender de uma interface que faça a leitura e interpretação do sinal eletromiográfico de cada músculo, para produzir o controle do elemento em movimento, na tela. Inclusive porque os movimentos dependem de uma intrincada relação neuromotora entre músculos agonistas, antagonistas e sinergistas do movimento gerado, que torna impossível acesso de todos os pontos motores de cada unidade. Há também de se considerar os músculos mais profundos, delgados e extremamente justapostos entre si, cujo acesso só é possível por meio de finas agulhas que deveriam ser inseridas através dos ventres dos músculos superficiais, o que dificultaria muito a coleta dos dados no segmento, principalmente devido a dor ou desconforto provocado nas crianças.

Neste projeto foi desenvolvido um jogo de obstáculos denominado “Acelera”, onde o usuário (crianças) tem que controlar um carro para desviar de cones e buracos na pista. O carro é controlado por meio de movimentos com os pés, levando-os ativamente para cima e para baixo, sendo tais movimentos intitulados de dorsiflexão e flexão plantar, respectivamente. Para capturar a movimentação do pé, foi desenvolvido um dispositivo wearable (papete), análogo a um joystick para o jogo, onde sensores integrados à papete transmitem, para um computador, informações da movimentação do pé do usuário. Os movimentos dos pés são usados para modificar uma representação gráfica no jogo, permitindo que o usuário obtenha alto grau de controle. O jogo de obstáculo foi selecionado porque é um jogo simples que pode ser facilmente compreendido e jogado por crianças a partir de 4 anos de idade. O sequenciamento dos obstáculos e conseqüentemente as atividades de dorsiflexão e flexão plantar, propostas pelo jogo, foram estruturadas, com apoio de fisioterapeutas, em torno de uma simulação de tarefas normalmente realizadas em sessões de reabilitação de crianças com Pé Torto Congênito (PTC). Nós testamos um jogo em um estudo piloto com 2 crianças, sendo uma com PTC e outra com desenvolvimento típico. Os resultados do estudo piloto com os primeiros testes com essas duas crianças e desenvolvimento do jogo são abordados neste estudo.

II. CONCEITOS E TRABALHOS RELACIONADOS

A. Dispositivos vestíveis inteligentes (wearables)

Um dispositivo vestível inteligente (wearable) é definido como um acessório usado pelo usuário, com tecnologias eletrônicas e de computação integradas, que captura ou relata

informações do usuário em tempo real [11]. Os dados obtidos com uso da tecnologia vestível variam de atividade física (caminhar, correr, etc.), movimento dos membros, frequência cardíaca, temperaturas, entre outras, que podem ser usados posteriormente para análise e referência [8]. Embora a forma adotada pelo dispositivo possa variar de um relógio de pulso a uma camiseta ou tênis inteligente, suas funcionalidades são frequentemente semelhantes.

Sensores vestíveis são usados para coletar dados fisiológicos e de movimento, permitindo assim o monitoramento do status do paciente [12]-[14]. Os sensores são implantados de acordo com a aplicação clínica de interesse. Por exemplo, sensores para monitorar sinais vitais como frequência cardíaca e frequência respiratória, podem ser implantados em relógios ou pulseiras para monitorar pacientes com insuficiência cardíaca ou com doença pulmonar [12]. Sensores para captura de movimentos de partes do corpo humano como membros inferiores e superiores podem ser implantados em pulseiras e sapatos, por exemplo, para intervenções de reabilitação motora [13], [14].

B. Dorsiflexão e Flexão Plantar

A capacidade humana de andar é possível através de uma sinergia entre os músculos dos membros inferiores e as articulações do pé, joelho e quadril [9]. O pé é considerado como uma das mais importantes articulações do corpo, pois além de possuir importantes funções no suporte de peso e na marcha, ele é causa de várias patologias, instabilidades ou desequilíbrios em todo o sistema músculo-esquelético [8],[9].

Existem seis tipos de movimentos básicos do pé [15]: abdução e adução, inversão e eversão, flexão dorsal e flexão plantar. Este estudo limitar-se-á ao estudo dos movimentos de flexão plantar e flexão dorsal. Para analisar esses movimentos é preciso definir os seguintes planos de referência (Fig. 1):

- Plano frontal: é o plano que separa a parte anterior do pé da parte posterior. Este plano passa sensivelmente pelo tornozelo.
- Plano sagital: é o plano que divide a parte medial (parte interna do pé) da parte lateral (parte externa do pé). Este plano passa pelo eixo do pé.
- Plano transversal: é o plano que divide a parte superior da parte inferior do pé.

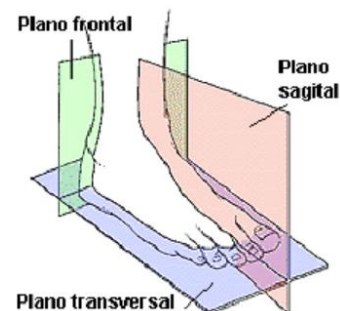


Fig. 1. Planos de referência do pé [15]

O movimento dorsiflexão é realizado no plano sagital, quando o pé se move para cima (na direção da tibia). Os eixos de rotação situam-se nos planos frontal e transversal (Fig. 2). Já na flexão plantar, o movimento do plano sagital, quando o pé se move para o solo. Os eixos de rotação situam-se nos planos frontal e transversal.

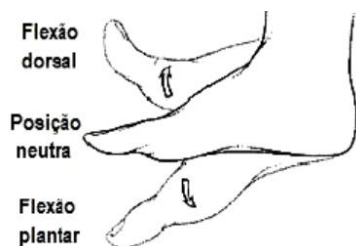


Fig. 2. Flexão Dorsal e Flexão Plantar no Plano Sagital [15]

III. TRABALHOS RELACIONADOS

A pesquisa e o desenvolvimento de dispositivos portáteis têm ganhado mais atenção e esforços recentemente. Tentativas foram feitas para desenvolver dispositivos portáteis inteligentes que permitem a captura de movimento humano [13]-[16]. Melhorias no equilíbrio e controle da marcha foram alcançadas com esses dispositivos [13], [18], [19]. Um desses dispositivos consistia em uma sonda de ultrassom, dois conjuntos de eletrodos de EMG de superfície, três sensores de força, um goniômetro de dois eixos, um módulo transmissor Wi-Fi sem fio e duas baterias recarregáveis [18]. O sistema era capaz de fornecer a imagem em ultrassom em tempo real dos músculos e medir a ativação muscular, a vibração muscular, a força plantar do pé e o ângulo articular simultaneamente. Outro estudo utilizou dois sensores IMUs (*Inertial measurement unit*) de movimento (acelerômetros e giroscópios de três eixos) que coletam dados relacionados às métricas de movimento (orientação, velocidade e forças gravitacionais) para analisar os movimentos do joelho do paciente [13]. Os sensores de movimento são montados acima e abaixo da articulação do joelho e se conectam com um aplicativo móvel que recebe dados em tempo real do sensor sobre a atividade do paciente. Em outro estudo foram empregados sensores de fibra óptica Bragg (FBG), usados para o monitoramento de movimento angular do tornozelo para reabilitação física [19].

Com relação aos jogos desenvolvidos para reabilitação dos pés, a maioria emprega dispositivos operados manualmente, como gamepad, joystick, mouse e teclado. Geralmente, esses jogos convencionais são limitados na complexidade dos sinais de dados medidos, bem como nos métodos em que esses sinais de dados são processados. Por exemplo, os consoles de jogos, como o Dance Dance Revolution [10], utilizam certas técnicas para receber interativamente sinais do movimento do pé do usuário durante o jogo. Embora o DDR seja capaz de detectar esses movimentos e processar a localização e o tempo para interagir com o ritmo ou a batida de uma música, o dance pad limita os sinais de dados processados com relação à forma e posição que os pés tocam o chão, importantes para tratar o PTC. Além disso, as danceterias são grandes, pesadas e relativamente caras.

Outro estudo apresentou o desenvolvimento de um jogo PONG baseado em eletromiografia interativa (EMG) para exercícios de dorsiflexão e flexão plantar dos pés [1]. O jogo PONG é um jogo clássico que pode ser facilmente compreendido e jogado por jovens e idosos. Dois sensores EMG de superfície foram utilizados para adquirir atividade muscular dos músculos tibial anterior e gastrocnêmio. [20] apresentam o resultado de uma intervenção cognitivo-motora usando um videogame de dança para melhorar a precisão da colocação dos pés e da marcha em condições de dupla tarefa em adultos mais velhos. Foram desenvolvidos jogos para os pés para demonstrar uma interface inovadora baseada na

abordagem de detecção de movimento do pé para smartphone [2]. O método de detecção e rastreamento híbrido baseado em visão computacional fornece um suporte essencial para a interface de interação com os pés, rastreando com precisão os sapatos do usuário. A patente [21], consiste em um sistema e um método que obtém dados de movimento e posição de sensores do calçado de um usuário e transmite sinais de dados correspondentes para um receptor via comunicação sem fio. O receptor, por sua vez, insere esses sinais como dados para um processador configurado para executar um programa de computador. Todos esses trabalhos mostram que a proposta desta pesquisa é viável.

IV. DESENVOLVIMENTO DO JOGO ACELERA

A concepção do jogo Acelera partiu de uma demanda de práticas de cuidados de crianças com PTC. O tratamento convencional geralmente é repetitivo, cansativo e enfadonho para crianças, pois, além das manobras manuais passivas, aplicadas pelo fisioterapeuta, indicadas para alongamento de tecidos biológicos, como tendões, ligamentos e cápsulas, a fim de permitirem o ajuste articular fisiológico, são necessários exercícios que estimulem a ativação e o fortalecimento muscular. Fisioterapeutas acreditam que a inserção de um jogo sério nesse processo pode aumentar o engajamento dessas crianças na terapia, além de fornecer informações importantes dos pés durante a prática com o jogo, tais como posição, velocidade e tempo de elevação do calcanhar (a partir do solo).

Todo o processo de desenvolvimento, desde a especificação dos requisitos até a testagem piloto com o público-alvo envolveu dois especialistas no domínio da fisioterapia, sendo um deles especializado no atendimento de crianças com PTC. Esse processo de desenvolvimento centrado no usuário permitiu garantir que o jogo fosse projetado de forma adequada ao público-alvo e possuísse utilidade clínica para os profissionais que o usarem.

O jogo Acelera é composto de três módulos: a) jogo sério com exercícios de dorsiflexão e flexão plantar; b) dispositivo wearable para controle do jogo denominado “Papete Inteligente”; c) módulo de comunicação e armazenamento de dados. A seguir, cada um desses módulos é detalhado com enfoque maior na descrição e especificação do módulo de jogo que é o objetivo deste trabalho.

A. Módulo de jogo

O jogo Acelera é constituído de uma pista com carros e obstáculos como cones e buracos (Fig. 3). O objetivo do jogador é controlar um carrinho e desviar dos obstáculos para somar pontos. Os obstáculos foram cuidadosamente posicionados na pista de forma a fazer com que o jogador permaneça o tempo necessário com pé flexionado na posição plantar ou dorsal e também em repouso. Por exemplo, mas imagens apresentadas, é necessário realizar movimento de Flexão Plantar (FP) durante 4 segundos (para ultrapassar os obstáculos na pista).

A Tabela I apresenta a descrição das 6 fases do jogo com propostas dos exercícios de flexão dorsal e flexão plantar. As fases foram projetadas com apoio dos especialistas em reabilitação de crianças com PTC e organizadas em níveis crescentes de dificuldade (desafios), considerando um descanso de 20 segundos entre uma fase e outra. Cada fase do jogo foi projetada de forma a prover 12 repetições dos movimentos especificados na Tabela I, sendo considerado o

mínimo de 70% de acerto para passar automaticamente de uma fase para outra. Caso o jogador não tenha completado os 70% mínimo de pontuação na fase, uma tela com botões (Refazer e Prosseguir) é apresentada. O terapeuta pode julgar a necessidade de refazer a fase ou prosseguir para a próxima fase.

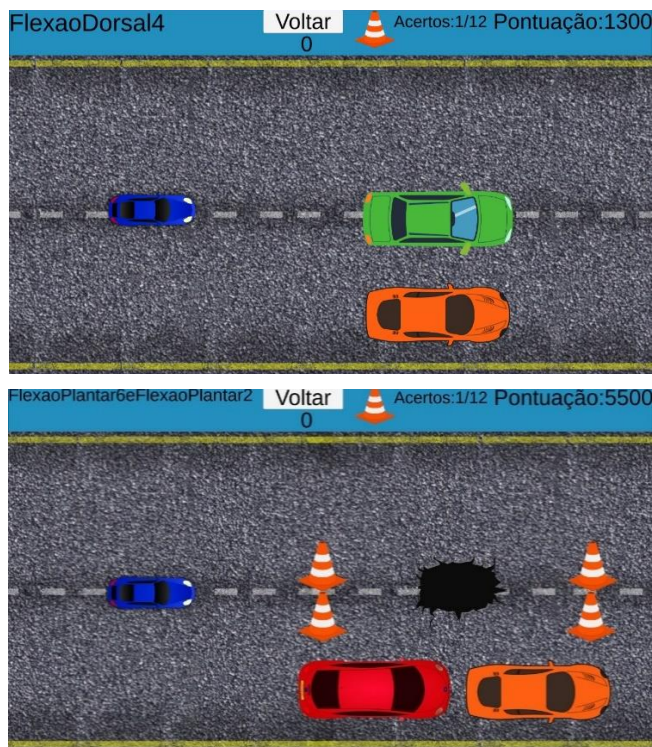


Fig. 3. Cenário do jogo Acelera

TABLE I. NÍVEIS DOS DESAFIOS DOS EXERCÍCIOS DE FLEXÃO PLANTAR E FLEXÃO DORSAL

Fase	Descrição	Duração do Movimento
FD2	Flexão Dorsal (2 seg)	2 segundos com pé flexionado na posição dorsal; 2 segundos com pé em repouso.
FD4	Flexão Dorsal (4 seg)	4 segundos com pé flexionado na posição dorsal; 2 segundos com pé em repouso.
FD2 + FP2	Flexão Dorsal (2 seg) + Flexão Plantar (2 seg) alternadamente	2 segundos com pé flexionado na posição dorsal; 2 segundos com pé em repouso; 2 segundos com pé flexionado na posição plantar.
FD4 + FP2	Flexão Dorsal (4 seg) + Flexão Plantar (2 seg) alternadamente	4 segundos com pé flexionado na posição dorsal; 2 segundos com pé em repouso; 2 segundos com pé flexionado na posição plantar.
FD2 + FP4	Flexão Dorsal (2 seg) + Flexão Plantar (4 seg) alternadamente	2 segundos com pé flexionado na posição dorsal; 2 segundos com pé em repouso; 4 segundos com pé flexionado na posição plantar.
FD6 + FP2	Flexão Dorsal (6 seg) + Flexão Plantar (2 seg) alternadamente	6 segundos com pé flexionado na posição dorsal; 2 segundos com pé em repouso; 2 segundos com pé flexionado na posição plantar.

FD=Flexão Dorsal
FP=Flexão Plantar

Ao final do jogo, ou seja, após jogar as seis fase de jogo, um relatório contendo o desempenho do jogador é apresentada (Fig. 4) contendo os seguintes dados para cada fase executada: pontuação; maior tempo em Flexão Dorsal; maior tempo em Flexão Plantar. Esses dados também são salvos em arquivo csv, no computador, para futuras análises.

O jogo foi desenvolvido utilizando o motor de jogo Unity 3D. As cenas foram criadas na seguinte sequência: uma cena

de início para configurações do jogo e do jogador, uma cena onde o jogo é jogado e registra os resultados e a cena de resultados finais. Os scripts foram criados com linguagem C# e permitem a integração do jogo com o Arduino. O jogo possui trilha sonora e efeitos sonoros para proporcionar maior engajamento. Os áudios, em formato MP3, foram selecionados de base de dados gratuitos disponíveis na Internet.

FASE	PONTOS	MAIOR TEMPO FD	MAIOR TEMPO FP
FD2	12/15	3,87	5,02
FD4	10/15	4,67	3,51
FD6	06/15	3,56	4,53
FP2	08/15	2,34	2,34
FP4	10/15	2,35	3,09
FP6	10/15	3,10	3,21

Fig. 4. Tela de pontuação geral do jogo

B. Papete Inteligente

Um calçado do tipo Papete foi equipado com uma placa de prototipagem Arduino baseada no microcontrolador ATmega328P e um acelerômetro (Figura 5). O acelerômetro foi posicionado na papete entre o segundo e o terceiro metatarso de forma a capturar parâmetros de movimento dos pés em flexão dorsal e flexão plantar.

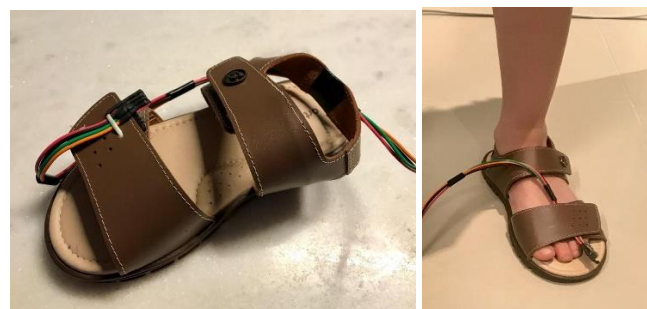


Fig. 5. Papete inteligente

C. Módulo de comunicação e armazenamento de dados

A comunicação da Papete com o jogo (Unity 3D) é feita via serial UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitte*) onde as taxas de transmissão entre a Papete e o a Unity são previamente configuradas em 115200 bps (bits por segundo). Os dados do desempenho do jogador estão sendo salvos, provisoriamente, em arquivo csv. Futuramente os dados serão armazenados em um banco de dados em nuvem para que o paciente e terapeuta possam ter acesso remoto através de aplicativo.

V. TESTE PILOTO

O teste piloto teve como objetivo verificar a usabilidade do jogo "Acelera" em duas crianças de quatro e seis anos de idade. Dentre elas, a mais jovem apresenta PTC idiopático à direita e recebe tratamento fisioterapêutico e a criança de seis anos apresenta desenvolvimento típico. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (Número 2.901.639).

Os testes foram feitos individualmente e os procedimentos aplicados da mesma forma para ambas as crianças. Inicialmente, o fisioterapeuta realizou uma anamnese com a criança e com os pais, a fim de encontrar algum impedimento para a realização da atividade. Foi questionado se a criança havia sofrido alguma lesão e/ou trauma recente, ou havia se queixado de dor nos membros inferiores. A partir da negativa dos pais e das crianças, com relação às questões acima, foi realizado um exame físico protocolar, com o qual o profissional verificou que os infantes estavam aptos para o procedimento. Com vestimenta confortável e própria (short e camiseta), e descalças, as crianças foram convidadas a sentarem em um banquinho estável, com quatro apoios e material antidesslizante nas extremidades distais deste banco, o qual não possui rodinhas, a fim de evitar queda ou algum acidente durante o jogo, e poder padronizar as posições das articulações do quadril, joelho e tornozelo em 90 graus de flexão, do membro inferior a ser testado.

A Papete foi calçada no pé direito dos participantes e o centro da tela do computador posicionado na linha dos olhos dos mesmos. A partir de uma contagem regressiva, o jogo era iniciado e o participante verificava que ao mover o pé para cima (dorsiflexão) e para baixo (flexão plantar), o carro mostrado na tela se movia, em velocidade constante, para a esquerda e para a direita da pista. Com isso, a criança, intuitivamente, controlava o veículo, a fim de evitar que ele se chocasse contra os obstáculos ou outros carros que surgiam na tela. Foram realizadas as seis fases, conforme a Tabela I, e ao final foi atribuída uma pontuação. Após o término da sessão o fisioterapeuta retirou a Papete e realizou uma reavaliação clínica, verificando se havia algum ponto de hiperemia, edema ou escoriação, além de palpação sobre as estruturas do pé e da perna, indagando sobre dor ou desconforto, que pudessem ter sido provocados pelo uso do equipamento. As crianças relataram que estavam se sentindo bem e não apresentavam dor, nem alterações nos membros envolvidos nos testes.

Foi aplicada uma entrevista semi-estruturada com algumas questões sobre a impressão que tiveram com o jogo, as quais foram respondidas da seguinte forma (considerar que o participante 1 (P1) tem desenvolvimento típico e o participante 2 (P2) apresenta PTC):

1- O que você achou do jogo?

P1: “Gostei muito, posso jogar novamente?”

P2: “Gostei, vou poder jogar em casa também?”

2- O que você mais gostou no jogo?

P1: “Parece que estou numa corrida e consegui muitos pontos.”

P2: “Gostei do desafio de ter que desviar da lava”. Gostei de poder controlar o carrinho com o meu pé e me saí melhor do que com a mão” (ao final do teste, este participante pediu para reiniciar com a papete em sua mão direita).

3- Algo o incomodou durante o jogo?

P1: “Não, nada me incomodou.”

P2: “Não.”

4- Você ficou cansado?

P1: “Não. Estou pronto pra jogar de novo.”

P2: “O pé cansou um pouco.” (pai falando: “por conta do recesso devido a COVID-19 ele estava há meses sem fazer o exercício da fisioterapia no pé”).

5- Você sentiu falta de alguma explicação sobre os movimentos, antes de iniciar o jogo?

P1: “Não, eu percebi que ao movimentar o pé, o carrinho se movia.”

P2: “Não.”

6- Existe algo que você não tenha entendido em relação ao jogo?

P1: “Ahh, eu não entendi muito bem a minha pontuação. Sei que ganhei muitos pontos”.

P2: “Eu entendi o jogo”.

7- Tem algo que você gostaria que melhorasse, no jogo?

P1: “Querida ver, na pista, alguns caminhos para eu poder desviar também.”

P2: “Está legal assim, mas o carrinho poderia correr mais rápido, também.”

8- Se você fosse convidado para participar de uma equipe que inventa jogos, você teria alguma sugestão para este jogo?

P1: “Eu colocaria um volante, como uma direção, com alguns comandos para ter algum controle do carro, nesta parte também. Querida, também, algumas moedas na pista para ganhar algum dinheiro e um posto de gasolina para abastecer e poder ir beber água. Querida mais opções de veículos, como moto e outros modelos de carro.”

P2: “Eu queria jogar com outros corredores também. Como se estivessem mais pessoas correndo na pista.”

Também foi realizada uma entrevista com os responsáveis. Seguem as questões:

1- Qual foi a sua impressão sobre o jogo?

R1: “Gostei muito pois este jogo está na geração de games que exigem movimentos e estimulam exercícios com outras partes do corpo, além das mãos.”

R2: “A ideia é excelente, o jogo é claro e visualmente fácil de entender pela criança.”

2- Você gostaria que o seu filho jogasse mais vezes? Por que?

R1: “Gostaria sim, pois como comentei este game exige de outras partes do corpo. E não é um jogo complexo ou difícil para acompanharmos e estimulá-los a seguirem em frente.”

R2: “Sim, pois de maneira lúdica ele poderia fazer alguns dos os exercícios necessários ao tratamento fisioterápico.”

3- Você considera que o seu filho tenha gostado da experiência com o jogo? Por que?

R1: “Sim, estou certo que ele gostou. Tanto pela insistência em continuar jogando, quanto pela sua empolgação e surpresa enquanto jogava.”

R2: “Sim, ele chegou em casa falando do jogo.”

4- Como você considera que foi a interação do seu filho com o jogo? Considera que pode melhorar? Tem alguma sugestão?

R1: “Considero que foi ótima. Sugiro que haja mais itens que chamam a atenção, como moedas e outros tipos de obstáculos.”

R2: “A interação foi muito boa, pois o carrinho se movimenta em sincronia com o movimento do pé, algo que me parece ser essencial para a criança entender e jogar. A parte visual também é bem clara e compreensível.”

5- Como considera que foi a motivação do seu filho com o jogo? Pode fazer alguma sugestão?

R1: “Ele ficou muito motivado com o jogo, tanto por ser algo novo, quanto por desafiá-lo a usar o controle com os pés.”

R2: “No início ele estranhou o jogo (que ao contrário do iPad, tem a sandália que comanda o movimento do carrinho), mas logo entendeu a dinâmica.”

6- Como considera que foi o feedback do jogo em relação aos interlocutores (você e seu filho) tem alguma sugestão?

R1: “Seria muito bom se houvesse algum som mostrando se acertou ou errou a manobra e ao início e final de cada etapa.”

R2: “Foi bom. Acredito que novos contatos com o jogo permitirão que ele se acostume ainda mais com a dinâmica do jogo, na terapia.”

7- Você gostaria de fazer alguma sugestão?

R1: “As sugestões que ele fez, pra mim, são suficientes. Se fosse possível gerar um relatório, seria bom.”

R2: “Creio que os movimentos do jogo serão de acordo com a necessidade da fisioterapia. De todo modo, minha sugestão é a de que o jogo seja dinâmico mesmo, com desafios que mantenham a criança entretida.”

8- Você considera que a tecnologia e especificamente os jogos sérios podem contribuir para o tratamento do seu filho e das crianças com PTC? De que forma?

R1: “Acredito que sim, a tecnologia tem participado cada vez mais das nossas vidas e mais ainda da vida de nossos filhos. Jogos deste tipo podem ajudar muito no tratamento e ser mais uma boa ferramenta para a recuperação deles.”

R2: “Com certeza o jogo pode contribuir. O longo tempo do tratamento faz com que a criança fique cansada da rotina terapêutica, e o jogo insere um elemento lúdico que para as crianças é um grande fator motivacional.”

O Feedback das crianças, neste primeiro experimento com o jogo, foi primordial para a coleta de requisitos de usabilidade que precisam ser melhorados: adicionar áudios e efeitos sonoros; deixar mais explícito quando o usuário pontua no jogo; e aumentar a velocidade de animação do carro.

VI. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A doença do PTC é a mais comum das doenças ortopédicas que os humanos podem apresentar ao nascimento, exigindo intervenções precoces, com frequência semanal e acompanhamento profissional por toda a infância. Tais intervenções exigem conhecimentos especializados sobre anatomia e fisiologia do corpo do recém-nascido e da criança,

além de aprofundados estudos sobre o desenvolvimento musculoesquelético, neuromotor e as habilidades inerentes a cada fase de desenvolvimento.

Atualmente, há consenso que a abordagem, sempre que possível, deve evitar cirurgias e o tratamento manter as estruturas dos membros da criança buscando terapêuticas conservadoras e minimamente invasivas, a fim de reduzir as alterações da forma menos agressiva e impactante possível. Tais abordagens, têm promovido correções muito satisfatórias, porém, o maior problema enfrentado pelos profissionais da saúde tem sido em manter as correções inicialmente obtidas ao longo dos anos. Muitos recursos têm sido utilizados, como órteses fixas para os membros inferiores, bandagens elásticas adesivas, alongamentos musculares e de tecidos conjuntivos e exercícios terapêuticos dirigidos, dentre outros. Mesmo assim, parte das deformidades podem retornar, mesmo tendo sido corrigidas, principalmente entre os 4 e os 10 anos de idade.

A proposta deste jogo pode ser um importante aliado para estimular e favorecer a realização de movimentos controlados e repetitivos, por meio de uma interface lúdica. Esta, envolve o interesse da criança em se divertir e a necessidade terapêutica da realização de exercícios de forma ativa e controlada. O recrutamento dos músculos que se relacionam com a articulação do tornozelo, inserindo-se na perna e nos diferentes ossos do pé, é primordial para as coordenadas ações dos membros inferiores e para o desempenho das diversas funções de deslocamento e locomoção do ser humano. O estabelecimento de uma rotina que possa por meio digital proporcionar uma série de movimentos ativos com elementos distrativos e envolventes, coaduna com a necessidade terapêutica da manutenção do alongamento dos tecidos conjuntivos da região, assim como o recrutamento das unidades motoras essenciais para as funções acima descritas.

Como trabalhos futuros, pretendemos adicionar novas funcionalidades ao jogo tais como estimulação dos movimentos de inversão e eversão e abdução e adução. A continuidade desse estudo piloto prevê a realização de um ensaio clínico controlado, com um número maior de participantes, para que possa ser obtida alguma evidência científica desse modelo de intervenção para o tratamento do PTC. A partir das evidências geradas, torna-se mais segura a aplicação de um protocolo baseado em jogos sérios e o tratamento poderá ser estendido a crianças com outras doenças que também envolvem alterações nos membros inferiores, como artrose, mielomeningocele e paralisia cerebral.

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos ao Auxílio PROEX N° 1133/2019 pelo apoio financeiro. Queremos também agradecer aos alunos do curso de Ciência da Computação da Universidade Presbiteriana Mackenzie - Gabriel Augusto Torres Azevedo e Luis Henrique Bastos Tamura - que colaboraram com o desenvolvimento deste projeto de pesquisa e aos participantes e familiares que apoiaram o projeto testando o protótipo durante a fase de teste piloto.

REFERENCES

- [1] C.L. Hee, T.H. Chong, D. Gouwanda, A.A. Gopalai, C.Y. Low, F.A. binti Hanapiah, “Developing interactive and simple electromyogram PONG game for foot dorsiflexion and plantarflexion rehabilitation exercise”, 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2017, pp. 275-278.

- [2] Z. Lv, S. Feng, M.S.L. Khan, S. Ur Réhman, H. Li, H. “Foot motion sensing: augmented game interface based on foot interaction for smartphone”, CHI’14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, 2014, pp. 293-296.
- [3] J.A. Gil-Gómez, R. Lloréns, M. Alcañiz, C. Colomer, “Effectiveness of a Wii balance board-based system (eBaViR) for balance rehabilitation: a pilot randomized clinical trial in patients with acquired brain injury”, *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, vol. 8, n.1, 2011, pp. 1-10.
- [4] K. Sato, K. Kuroki, S. Saiki, R. Nagatomi, “Improving walking, muscle strength, and balance in the elderly with an exergame using Kinect: A randomized controlled trial”, *Games for health journal*, vol.4, n.3, 2015, pp. 161-167.
- [5] M. Morri, D. Vigna, D. Raffa, D.M. Donati, M.G. Benedetti, “Effect of game based balance exercises on rehabilitation after knee surgery: A controlled observational study”, *Journal of medical systems*, vol. 43, n.141, 2019, pp.1-6.
- [6] J. Hamill, K.M. Knutzen, “Biomechanical basis of human movement”, Lippincott Williams & Wilkins, 2ª edição, 2006.
- [7] R. J. Soares, A.S.O.D Cerqueira, L. Mochizuki, J.C. Serrão, J.P. Vilas-Boas, A.C. Amadio, “Parâmetros biomecânicos da marcha em crianças com pé torto congênito unilateral e bilateral”, *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, vol. 30, n. 2, 2016, pp. 271-277.
- [8] A. Dimeglio, F. Canavese, “The French functional physical therapy method for the treatment of congenital clubfoot.”, *Journal of Pediatric Orthopaedics B*, v. 21, n. 1, 2012, pp. 28-39.
- [9] D.R.M.J. Ferreira, “Análise cinemática do andar de crianças com pé torto congênito tratadas pelo método funcional francês adaptado”, Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2018.
- [10] A.D. Kloos, N.E. Fritz, S.K. Kostyk, G.S. Young, D.A. Kegelmeyer, “Video game play (Dance Dance Revolution) as a potential exercise therapy in Huntington’s disease: a controlled clinical trial”, *Clinical rehabilitation*, vol. 27, n. 11, 2013, pp. 972-982.
- [11] H. Yoon, S.H. Park, K.T. Lee, “Lightful user interaction on smart wearables”, *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 20, n.6, 2016, pp. 973-984.
- [12] A. Toma, T. Madej, A.H. Diab, K. Matschke, M. Knaut, “The Wearable Cardioverter Defibrillator: A Safe, Noninvasive Solution for Patients with High-Risk for Sudden Cardiac Death following Heart Surgery”, *The Thoracic and Cardiovascular Surgeon*, 66(S01), DGTHG-V248, 2018.
- [13] M. Ianculescu, B. Andrei, A. Alexandru, “A Smart Assistance Solution for Remotely Monitoring the Orthopaedic Rehabilitation Process Using Wearable Technology: re. flex System”, *Studies in Informatics and Control*, vol. 28, n.3, 2019, pp. 317-326.
- [14] P. Bonato, P.J. Mork, D.M. Sherrill, R.H. Westgaard, “Data mining of motor patterns recorded with wearable technology”, *IEEE engineering in medicine and biology magazine*, vol. 22, n.3, 2003, pp. 110-119.
- [15] M. Caetano, “Funcionalidade biomecânica”, Disponível em: <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/aplicacoes/calculo/classificacao-do-calcado/funcionalidade-biomecanica/>, Acesso em 04 de agosto de 2020.
- [16] R. Alexandre, O. Postolache, “Wearable and IoT technologies application for physical rehabilitation”, *IEEE International Symposium in Sensing and Instrumentation in IoT Era (ISSI)*, 2018, pp. 1-6.
- [17] R. Alexandre, O. Postolache, P.S. Girão, “Physical Rehabilitation based on Smart Wearable and Virtual Reality Serious Game”, *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 2019, pp. 1-6.
- [18] C.Z.H. Ma, Y.T. Ling, Q.T.K. Shea, L.K. Wang, X.Y. Wang, Y.P. Zheng, “Towards wearable comprehensive capture and analysis of skeletal muscle activity during human locomotion”, *Sensors*, vol. 19, n. 195, pp. 1-13.
- [19] M.F. Domingues, C. Tavares, V. Rosa, L. Pereira, N. Alberto, P. Andre, A. Radwan, “Wearable eHealth System for Physical Rehabilitation: Ankle Plantar-Dorsi-Flexion Monitoring”, *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2019, pp. 1-6.
- [20] G. Pichierri, K. Murer, E.D. de Bruin, “A cognitive-motor intervention using a dance video game to enhance foot placement accuracy and gait under dual task conditions in older adults: a randomized controlled trial”. *BMC geriatrics*, vol. 12, n.74, 2012, 1-14.
- [21] R. Picunko, U.S. Patent Application No. 12/514,261, 2010, US20100035688A1.