VIRGÍNIA HELENA QUADRADO

Aprendizagem motora em tarefa virtual na Distrofia Muscular

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Medicina da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências**

Programa de Ciências da Reabilitação

**Área de concentração: Função e
Disfunção em Fisioterapia**

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Bandeira
de Mello Monteiro**

São Paulo

2014

VIRGÍNIA HELENA QUADRADO

Aprendizagem motora em tarefa virtual na Distrofia Muscular

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Medicina da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências**

Programa de Ciências da Reabilitação

**Área de concentração: Função e
Disfunção em Fisioterapia**

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Bandeira
de Mello Monteiro**

São Paulo

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Quadrado, Virgínia Helena

Aprendizagem motora em tarefa virtual na distrofia muscular / Virgínia
Helena Quadrado. -- São Paulo, 2014.

Dissertação(mestrado)--Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.
Programa de Ciências da Reabilitação.

Orientador: Carlos Bandeira de Mello Monteiro.

Descritores: 1.Distrofia muscular de Duchenne 2.Atividade motora
3.Aprendizagem 4.Terapia de exposição à realidade virtual 5.Tecnologia assistiva

USP/FM/DBD-362/14

Dedico esta dissertação ao meu pai

Leonel Quadrado (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Maria Helena Quadrado, e à minha irmã, Alice Regina Quadrado, pelo inestimável incentivo ao longo da vida.

Ao meu companheiro de todos os dias, Carlos Henrique Oliveira do Nascimento, que me apoia em todas as decisões e as vive comigo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Bandeira de Mello Monteiro, que tornou possível esta etapa da minha vida.

À minha colega de pós-graduação, Talita Dias da Silva, pelo esforço em participar da análise dos dados.

À extinta ABDIM – Associação Brasileira de Distrofia Muscular pela oportunidade de realização da coleta de dados.

NORMALIZAÇÃO ADOTADA

Esta dissertação está de acordo com as seguintes normas, em vigor no momento desta publicação:

Referências: adaptado de *International Committee of Medical Journals Editors* (Vancouver).

Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Divisão de Biblioteca e Documentação. *Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias*. Elaborado por Anneliese Carneiro da Cunha, Maria Julia de A. L. Freddi, Maria F. Crestana, Marinalva de Souza Aragão, Suely Campos Cardoso, Valéria Vilhena. 3a ed. São Paulo: Divisão de Biblioteca e Documentação; 2011.

Abreviaturas dos títulos dos periódicos de acordo com *List of Journals Indexed in Index Medicus*.

SUMÁRIO

Lista de figuras	
Lista de tabelas	
Lista de siglas	
Resumo	
Abstract	
1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivos.....	21
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
2.1 Participantes.....	22
2.2 Seleção da Tarefa.....	26
2.3 Procedimento da Tarefa.....	29
2.4 Análise dos Dados.....	31
3 RESULTADOS.....	33
3.1 Aquisição.....	33
3.1.1 Erro Constante.....	33
3.1.2 Erro Absoluto.....	33
3.1.3 Erro Variável.....	35
3.2 Retenção.....	35
3.3 Transferência (com aumento da velocidade).....	36
3.3.1 Erro Constante.....	36
3.3.2 Erro Absoluto.....	36
3.3.3 Erro Variável.....	36
3.4 Transferência (com alteração de interface).....	36
3.4.1 Erro Constante.....	36
3.4.2 Erro Absoluto.....	36
3.4.3 Erro variável.....	37
3.5 Análise de Regressão.....	37
4 DISCUSSÃO.....	39
5 CONCLUSÃO.....	44
Anexo A.....	45
Anexo B.....	46
Anexo C.....	48
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tarefa de Timing Coincidente realizada no computador.....	28
Figura 2. Ilustração do posicionamento dos indivíduos para realização da tarefa CCF (A e B) e SCF (C e D).....	30
Figura 3. Erro constante (EC) nos grupos-DMD e DT para ambas as tarefas (CCF e SCF).....	33
Figura 4. Erro absoluto (EA) nos grupos-DMD e DT para ambas as tarefas (CCF e SCF).....	34
Figura 5. Erro variável (EV) para os grupos-DMD e DT para ambas as tarefas (CCF e SCF).....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Score obtido dos sujeitos para os testes de funcionalidade.....	24
Tabela 2: Classificação mínima necessária para inclusão dos participantes em Itens funcionais da CIF: Funções do Corpo.....	26
Tabela 3: Classificação mínima necessária para inclusão dos participantes em Itens funcionais da CIF: Atividades e Participação.....	26
Tabela 4: Delineamento Experimental.....	31

LISTA DE SIGLAS

DM – Distrofia Muscular

DMD – Distrofia Muscular de Duchenne

RV – Realidade Virtual

EEG – Eletroencefalograma

DT – Desenvolvimento Típico

CIF – Classificação Internacional de Funcionalidade Incapacidade e Saúde

MFM – Motor Function Measure Scale

MFMTot – MFM Total

MFM-D3 – MFM Domínio D3

EK – Egen Klassifikation

ABDIM – Associação Brasileira de Distrofia Muscular

CCF – Interface com contato físico

SCF – Interface sem contato físico

EP-USP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

MANOVA – Análise de Variância Multivariada

SPSS – Statistical Package for Social Sciences

EA – Erro Absoluto

EC – Erro Constante

EV – Erro Variável

RESUMO

Quadrado VH. *Aprendizagem motora em tarefa virtual na distrofia muscular* [Dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2014.

Com a crescente acessibilidade à tecnologia computacional-assistiva, programas de reabilitação para indivíduos com Distrofia Muscular de Duchenne (DMD) têm aumentado, utilizando ambientes de realidade virtual para prática motora. Sendo assim, é importante examinar se há melhora no desempenho de um ambiente virtual para um ambiente real. Para examinar essa questão, 64 indivíduos foram analisados, sendo 32 indivíduos com DMD e 32 indivíduos com desenvolvimento típico que praticaram duas tarefas timing coincidente. Na tarefa considerada em ambiente real, os indivíduos tiveram que “interceptar” um objeto virtual em queda no momento coincidente à sua chegada, pressionando uma tecla do computador como resposta ao alvo. Na tarefa considerada em ambiente virtual, os indivíduos tiveram que “interceptar” o objeto virtual realizando um movimento com a mão em um ambiente virtual para acerto ao alvo. Os resultados mostraram que os indivíduos com DMD responderam com menos acurácia que os indivíduos com desenvolvimento típico, mas que apresentaram melhora na acurácia ao longo da tarefa. Além disso, os indivíduos com DMD que praticaram a tarefa primeiro em ambiente virtual tiveram pior desempenho no ambiente real que os indivíduos com DMD que começaram a tarefa pelo ambiente real. Conclui-se que a implementação de ambientes virtuais para a reabilitação motora em indivíduos com DMD não deve ser tomada como absoluta, mas que deve ser considerada com atenção ao montar a conduta de treino.

Descritores: distrofia muscular de Duchenne; atividade motora; aprendizagem; terapia de exposição à realidade virtual; tecnologia assistiva.

ABSTRACT

Quadrado VH. *Motor learning in virtual reality task in muscular dystrophy* [dissertation]. São Paulo: “Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo”; 2014.

With the growing accessibility of computer-assisted technology, rehabilitation programs for individuals with Duchenne muscular dystrophy (DMD) increasingly use virtual reality environments to enhance motor practice. Thus, it is important to examine whether performance improvements in the virtual environment generalize to the natural environment. To examine this issue, we had 64 individuals, 32 of which were individuals with DMD and 32 typically developing individuals, practice two coincidence timing tasks. In the more tangible button-press task, the individuals were required to ‘intercept’ a falling virtual object at the moment it reached the interception point by pressing a key. In the more abstract, less tangible task, they were instructed to ‘intercept’ the virtual object by making a hand movement in a virtual environment. The results showed that individuals with DMD timed less accurate than in typically developing individuals, but also that they improved timing accuracy. Importantly, however, results also showed that after practicing the more abstract gesture task in the virtual environment, performance of the individuals with DMD on the tangible task in the natural environment remained worse than performance of individuals who first practiced the tangible task. It is concluded that the implementation of virtual environments for motor rehabilitation in individuals with DMD should not be taken for granted but needs to be considered carefully.

Descriptors: muscular dystrophy, Duchenne; motor activity; learning; virtual reality exposure therapy; assistive technology.

1. INTRODUÇÃO

As distrofias musculares são doenças genéticas hereditárias e progressivas ligadas ao cromossomo X, resultantes de alterações no gene DMD localizado no cromossomo xp21 (Wicksell et al. 2004; Lue et al. 2009). Este gene possui 79 exons e codifica uma proteína chamada distrofina. As deleções e duplicações de um ou mais exons desse gene são responsáveis por 65% das mutações patogênicas, sendo as restantes atribuídas a mutações de ponto (Lue et al. 2009). Em 2/3 dos casos, a mutação responsável pela doença está presente na mãe do paciente, que apresenta um risco de 50% de ter outros filhos do sexo masculino afetados. As mães portadoras de mutação, porém, não exibem qualquer manifestação clínica. No 1/3 restante dos casos de meninos afetados, as mutações são novas e, nesses casos, o risco de recorrência para futuros filhos é desprezível (Zatz 2004).

A incidência da Distrofia Muscular (DM) está em 1 para cada 3000 nascidos, com atualmente mais de 30 tipos diferentes de distrofias musculares já identificadas (Caromano 1999; Souza e Melo 2000; Lianza 2001; Santos et al. 2000; Emery 1998), compreendendo distúrbios da postura e movimento, como a falta de capacidade do corpo em enfrentar com eficiência os efeitos da gravidade e de se relacionar com a superfície da terra por meio da base de apoio (Yoshioka 1980). No presente trabalho, estudamos apenas um tipo de DM, a Distrofia Muscular de Duchenne (DMD) sendo caracterizada apenas por indivíduos do sexo masculino.

Clinicamente, a DMD tem como característica dificuldades variáveis na ação muscular, com resultante incapacidade do indivíduo em manter posturas e realizar movimentos normais. Essas dificuldades implicam na perda da funcionalidade,

difficuldade em movimentar os membros superiores de forma coordenada, dependência na maioria das atividades do cotidiano e necessidade de inclusão em programas de habilitação contínuos, que priorizam, devido a sua condição, posicionamentos e movimentos adequados (Tsai et al. 2002; Santos et al. 2006).

A intervenção terapêutica constante se faz necessária pelo fato das DM serem doenças progressivas. Assim, ao focar em atividades motoras e de coordenação, torna-se possível o aumento da qualidade de vida e a desaceleração da progressão da doença.

O interesse principal dos profissionais que trabalham com DM é identificar características que possam facilitar o desempenho motor durante as tarefas diárias e encorajar o desenvolvimento de novas habilidades motoras, de forma que estas habilidades sejam realizadas de forma eficiente em diferentes contextos (Jung et al. 2012). Neste sentido, os princípios da aprendizagem motora podem auxiliar os profissionais na estruturação da reabilitação, a fim de facilitar a aprendizagem de habilidades motoras em pessoas com DM, com ênfase nos membros superiores para incentivar a independência dos indivíduos em tarefas cotidianas (Jung et al. 2012; Hashimoto et al. 2010).

Atualmente, verifica-se a existência de várias pesquisas sobre DMD, considerando as funções motoras grossas e as incapacidades funcionais na mobilidade, auto cuidado e função social (Santos et al. 2006; Visser 2003; Nair et al. 2001; Bach 2004; Vestergaard 2001), além das pesquisas genéticas, envolvidas com o mapeamento da proteína distrofina (Tracey et al. 1995; Rosman 1970; Jagadha & Becker 1988; Cotton et al. 2001; Wicksell et al. 2004; Cyrulnik et al. 2008; Bushby et al. 2010). No entanto, verifica-se um crescente interesse em pesquisas sobre aprendizagem motora na DMD associada ao ambiente de Realidade Virtual (RV), com propostas que possibilitem maior funcionalidade por meio do conhecimento advindo da aprendizagem

motora (Hashimoto 2010; Lalor et al. 2005; Leeb et al. 2007; Ron-Angevin & Diaz-Estrella 2009).

A aprendizagem motora é um fenômeno que se refere a um conjunto de processos internos associados com a prática ou experiência, levando à mudanças relativamente permanentes no comportamento motor (Hashimoto et al. 2010). O processo de aprendizagem motora envolve três fases principais: aquisição, retenção e transferência. Por exemplo, uma pessoa que levanta uma caixa corretamente (fase de aquisição) deve ser capaz de executar esta tarefa uma semana depois (fase de retenção) e transferir esse aprendizado, levantando corretamente diferentes itens no local de trabalho (fase de transferência) (Hashimoto et al. 2010). Ou seja, apenas a melhora do desempenho motor durante a fase de prática da tarefa (aquisição) não reflete aprendizagem motora, para tanto é necessário avaliar o desempenho durante as fases de retenção e transferência (Lalor et al. 2005).

No início da aprendizagem de uma habilidade existe muita inconsistência, tanto no padrão de execução quanto no resultado do movimento no ambiente, apresentando instabilidade no desempenho. Com a prática de determinada tarefa aliada ao feedback negativo, essa instabilidade vai sendo eliminada gradativamente, dando lugar a execuções padronizadas espacial e temporalmente. Quando essa estabilidade do desempenho é alcançada, infere-se que uma estrutura foi formada (Tani 1995).

Em outras palavras, as habilidades motoras adquiridas com a prática de uma determinada tarefa permitem discernir claramente mudanças na interação com objetos e com outros seres humanos, de maneira a melhorar o desempenho na execução da tarefa selecionada, aumento da consistência, fluência no movimento, diminuição do erro de execução e redução no tempo total de movimento para a realização da tarefa (Magill 2000).

Considerando que o foco da aprendizagem motora é a prática, existem incontáveis métodos para se organizar esta prática no processo de intervenção, embora ainda seja complexa a compreensão de como estas variações afetam a aprendizagem e como interagem entre si (Chiviacowsky & Tani 1997; Ugrinowitsch et al. 2005).

Especulações sobre como organizar eficazmente a prática têm sido feitas nas últimas décadas no contexto da aprendizagem motora. À medida que informações atualizadas sobre aprendizagem motora tornam-se disponíveis, os profissionais avaliam os princípios que formam a base para a intervenção e substituem ideias antigas e ultrapassadas por princípios mais atualizados (Umphred 1994). Mas, a influência do comprometimento dos sistemas motor e cognitivo no processo de aprendizagem motora em indivíduos com alterações neurológicas ainda não está bem estabelecida (Winstein et al. 1999). Ademais, indivíduos com DMD têm como uma das características motoras, a presença de contraturas musculares, sobretudo nos membros superiores (braço e cotovelo), comprometendo os movimentos de pronação e supinação do antebraço e também desvios radial e ulnar (Skalsky & McDonald 2012; Servais et al. 2013), o que sugere a realização de novas pesquisas para propiciar melhor adequação da intervenção de diferentes profissionais e ordem das tarefas que serão selecionadas por meio do conhecimento da aprendizagem e sua influência na DMD.

Uma possibilidade que tem se desenvolvido de forma consistente é a verificação da aprendizagem motora em ambientes de RV (Azuma 1997; Garbin et al. 2006), que têm sido cada vez mais selecionados dentre tantos, a fim de não somente explorar a tecnologia como terapia e aumento da funcionalidade nas DM, mas também tornar cada vez mais eficientes as maneiras de trabalhar com a aprendizagem motora, com jogos eletrônicos e interfaces virtuais. Recentemente, pesquisas científicas com DMD têm abordado cada vez mais o conceito de RV, no qual o indivíduo é exposto a uma

interface virtual capaz de interagir com elementos e alvos de forma dinâmica e lúdica, tendo o raciocínio lógico e o tempo de reação associados ao movimento, o que permite a contração muscular de forma repetida e consistente (Chiviacowsky & Tani 1997; Ugrinowitsch et al. 2005). Em muitos casos, as tarefas de RV propostas como terapia, apresentam um cenário de desafios por meio de jogos com objetivos específicos, estimulando o raciocínio dentro de um tempo pré-determinado, com imagens coloridas, alvos e personagens que remetem à visão lúdica de execução da tarefa, com a intenção de incentivar o indivíduo a interagir de forma comprometida e ao mesmo tempo descontraída.

A RV permite uma interação agradável e segura, visto que é possível transportar os elementos do mundo virtual para o real. Neste caso, pode-se eliminar dispositivos tecnológicos e complexos e interagir apenas com as mãos, tornando a tarefa mais natural e atrativa para o paciente (Milgram & Kishino 1994). A RV combina a “visão” que o usuário possui do mundo real com objetos virtuais por meio de tecnologia em tempo real, e objetos virtuais parecem coexistir no mesmo espaço físico que os objetos reais (Kirner & Tori 2002; Prochnow et al. 2003; Spence 2003). Esta característica da RV traz vantagens às pessoas com deficiência motora, sendo muitas vezes desnecessária a realização de adaptações ou mudanças nos equipamentos de reabilitação (Costa & Carvalho 2001). Shih et al. (2010) argumentam que os ambientes virtuais permitem que pessoas com deficiência, quando conectadas ou imersas, melhorem seus níveis de interação com o ambiente.

Desde o início dos anos 90, há um progresso significativo no que diz respeito ao desenvolvimento de ambientes de RV. Nesta área, a maioria dos trabalhos têm se concentrado em aspectos como geração de imagens de qualidade, captura dos

movimentos dos usuários, modelagem de cenários e interação entre usuários e objetos virtuais (Yano et al. 1998).

Spence (2003) e Yano et al. (1998) citam que o uso de sensações táteis acentua a sensibilidade de outros estímulos presentes em um mesmo ambiente de interação, além de prover um novo canal de comunicação. Yano et al.(1998) e Burdea (1999) , também destacam que a presença do monitoramento tátil influencia diretamente na percepção espacial, fazendo com que um paciente, por exemplo, diminua o número de colisões com paredes virtuais, em comparação ao mesmo ambiente sem tato.

Os sistemas de reação tátil transmitem sensações que atuam sobre a pele. Estes sistemas podem incluir não apenas a sensação do toque, mas também a percepção de geometria, rugosidade, temperatura, características de atrito de superfície associadas ao objeto tocado e geralmente, estes dispositivos também englobam reação de força (Chang et al. 2002).

A geração de estímulo tátil em ambientes virtuais tem atraído a atenção de pesquisadores. Apesar de termos como “*force feedback*” e “*tactile feedback*” terem surgido há mais de meio século, apenas a partir da década de 1990 a pesquisa na área intensificou-se, e o tato começou a fazer parte de simulações de RV de forma concreta (Yano et al. 1998; Burdea 1999).

Em ambientes de RV os canais multissensoriais (visão, audição, tato etc.) podem ser ampliados em intensidade, tempo e espaço (Azuma 1997; Tori & Kirner 2006). Em função disso, nos últimos anos, verifica-se um interesse crescente desta tecnologia como incentivo à prática de atividade física, assim como é bastante utilizada como ferramenta de intervenção em programas de reabilitação motora e cognitiva em diferentes deficiências. A vantagem da RV está na possibilidade de oferecer oportunidades aos deficientes de vivenciar diversas situações de maneira individualizada. Este novo

paradigma de intervenção apoiado por tecnologias modernas pode ser utilizado como uma forma de intervenção física, cognitiva ou psicológica que se baseiam no uso de jogos e ambientes virtuais para viabilizar função a diferentes deficiências (Monteiro 2011). Ao utilizar a RV como ferramenta educativa e terapêutica, os terapeutas conseguem promover flexibilidade e controle na administração de suas condutas de tratamento, aumentando a probabilidade de transferência da habilidade adquirida de forma segura e eficiente (Wang & Reid 2011).

Assim, para tornar o ambiente virtual mais real, é interessante que além da locomoção e movimentação tridimensional, por meio do cenário e interação com o mesmo, o usuário possa sentir de alguma forma os objetos com os quais está interagindo, com o objetivo de tornar a tarefa mais fácil, já que o feedback advindo também do tato pode ser mais eficiente que apenas o feedback visual.

Entretanto, pessoas com limitações motoras apresentam deficiências no controle motor fino, na força muscular e na amplitude de movimento. Esses *déficits* podem reduzir drasticamente a capacidade de executar tarefas diárias, como vestir-se, pentear-se e higienizar-se de forma independente. Ademais, esses *déficits* podem reduzir a participação em atividades comunitárias e de lazer, além de impactar negativamente as perspectivas no trabalho (Lue et al. 2009; Jung et al. 2012).

Uma das dificuldades de interação entre o indivíduo com DMD e o computador está na incapacidade de utilizar o teclado como contato de forma funcional. As alterações motoras que caracterizam a DMD dificultam a realização de habilidades motoras específicas, diminuindo ou até incapacitando a utilização de teclados no dia a dia. Shih et al. (2010), citam que uma grande parte da literatura relacionada mostrou que o uso de simples ações comportamentais, como movimentos das mãos (empurrar ou balançar), movimento dos dedos (pegar), giro da cabeça, mudança de postura em pé -

em conexão com detectores correspondente (ou seja, switches ou sensores) - e programas de tecnologia assistiva, são capazes de ajudar as pessoas com deficiência em alcançar uma forma de interação positiva com o meio ambiente. Para tanto, uma proposta funcional que possibilite a interação do deficiente físico com o computador é a utilização de uma interface virtual por meio de uma webcam, nesse caso criando-se um ambiente no qual o indivíduo não necessite de contato físico para realizar a tarefa. Basta passar a mão ou parte do corpo na frente de uma webcam que o contato com o ambiente virtual está estabelecido.

Além disso, existem vantagens interessantes ao utilizar a RV nos programas de reabilitação na DMD tendo em vista a relação custo-benefício, que visa a possibilidade de pessoas com deficiência motora praticarem tarefas em suas casas, juntamente às suas famílias, podendo interagir com outros jogadores ou sob supervisão de um profissional responsável, reduzindo, dessa forma, a necessidade de se locomover a centros de reabilitação, tornando a terapia mais eficiente e com menores custos (Hurkmans et al. 2010; Vissers et al. 2008; Huber et al. 2010), fornecendo alternativas promissoras para proporcionar um meio de controle com precisão de diferentes informações para o terapeuta (Dessing et al. 1994; Green e Bavelier 2004, 2006, 2008).

Com relação à utilização de RV na DMD, Villozzi et al. (1994) apresentaram um estudo descrevendo o uso de vídeo-games simples em um período de 5 semanas para treinamento da musculatura respiratória em 15 pacientes com DMD em vários estágios de progressão da doença. Os jogos foram reorganizados para serem operados e realizados pelos esforços respiratórios dos pacientes e inserir medidas precisas de ventilação e tempo. Os resultados concluíram que os jogos computadorizados podem ser aplicados no formato de exercícios com o uso de técnicas respiratórias, podendo

melhorar o desempenho respiratório de crianças com DMD que foram recentemente imobilizadas e que apresentaram deficiência moderada nos testes de função pulmonar.

Munih et al. (2010), avaliaram a capacidade de força dos membros superiores em 32 pacientes com distrofia muscular. Neste estudo foi apresentada uma nova técnica para a avaliação funcional do membro superior por meio de exercícios em ambiente virtual com capacidade máxima de esforço. A medição consistiu em um simulador de RV, capaz de fornecer feedback tátil, visual e auditivo. Os resultados mostraram validação desta nova técnica de avaliação, na qual verificou-se que o simulador de RV utilizado apresentava critérios necessários para avaliar a capacidade de força em pessoas com DMD.

Hashimoto et al. (2010), desenvolveram um sistema de interação motora em interface cérebro-computador (BCI) e realizaram um estudo para verificar se por meio de eletroencefalograma (EEG) seria viável a comunicação de pacientes com DM junto à utilização de uma plataforma de RV, assim como viabilizar que usuários utilizem um avatar para navegar em um ambiente de internet. Os autores relataram que um indivíduo com DM severa utilizou o sistema BCI durante 1 hora por dia e, em seguida, continuou a mesma metodologia duas vezes por mês em sua casa. Os dados demonstraram mudanças no desempenho com o uso do sistema BCI em longo prazo. Esses resultados sugerem que um possível desenvolvimento de sistemas de RV permite que pacientes severamente comprometidos possam se comunicar com outros indivíduos em um mundo virtual da mesma maneira que uma pessoa com desenvolvimento típico, além de demonstrar que uma pessoa com DM severa foi capaz de aprender a controlar o sinal de seu EEG e se comunicar com outros usuários.

Para realizar uma tarefa de toque em um objeto real é necessária a predição do movimento do objeto para o seu futuro lugar que, em etapas, requer um controle

prospectivo da cabeça, olhos e movimentos dos braços. No entanto, questões sobre como prever a posição de um objeto em ambiente virtual ainda são uma incógnita, e pesquisas nessa área são fundamentais para direcionar o uso futuro da RV como proposta de tratamento para pessoas com DMD.

1.1 Objetivo

O presente estudo teve como objetivo analisar se a realização de uma tarefa sem contato físico (característica mais virtual) permite transferir a melhora de desempenho para uma tarefa com contato físico (característica mais real) e vice-versa.

Os resultados do presente estudo são importantes para mostrar o desempenho de pessoas com DMD tanto em um ambiente de RV como em um ambiente real, além de verificar a eficácia do uso da RV para fornecer funcionalidade para pessoas com DMD.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo sob o número de protocolo de pesquisa 367/13 e desenvolvido por meio de assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido pelo próprio indivíduo ou seu responsável.

2.1 Participantes

Para este estudo avaliaram-se 64 pessoas, divididas em 2 grupos: 32 pessoas com DMD (grupo-DMD), todos do gênero masculino com média de 18 anos de idade e desvio padrão de 5.1 (Min: 12 / Máx: 32) e, 32 pessoas com desenvolvimento típico (DT) (grupo-DT) pareados com idade e gênero de acordo com o grupo-DMD.

Para a seleção dos indivíduos, utilizamos critérios de inclusão e de exclusão, levando em consideração o diagnóstico médico de DMD confirmado por método molecular e/ou expressão de proteínas no músculo esquelético, além do escore obtido nas aplicações de escalas de funcionalidade e de progressão da doença e também a CIF – Classificação Internacional de Funcionalidade Incapacidade e Saúde (CIF 2003).

Para a avaliação da funcionalidade, utilizamos o Motor Function Measure Scale (MFM), composto por 32 itens (tarefas motoras) divididos em três domínios que fornecem um perfil detalhado da deficiência física: (D1) transferências e postura em pé; (D2) capacidade motora axial e proximal e (D3), capacidade motora distal, para fornecer um perfil detalhado da deficiência física (Vuiller et al. 2012). No presente estudo, caracterizou-se os participantes somente pelo domínio D3 do MFM, de acordo

com Diniz et al. (2012), que consideram a função motora distal do membro a mais crucial para executar tarefas funcionais com os braços.

Para melhor especificar as dificuldades dos participantes, incluiu-se também o valor do MFM total (MFMTot) no qual percebe-se que o valor do domínio D3 é superior ao valor total em todos os participantes. Para cada item é dado um ponto de zero a três e os valores são transformados em um percentual para cada dimensão e em um valor percentual total da escala obtida.

Já para a avaliação da progressão da doença, utilizamos a Egen Klassification (EK); projetada para refletir a perda progressiva da capacidade física do indivíduo com DMD em 10 atividades principais (Brunherotti et al. 2007), priorizando os indivíduos que obtiveram escore alto nas duas avaliações, por terem condições motoras ideais para a realização de tarefas básicas fundamentais e viabilizar a aplicação das avaliações escolhidas. E para verificar o estadiamento da doença, foi aplicado o Vignos (Vignos e Archibald, 1960), para mensurarmos o grau progressivo alcançado da doença. A Tabela 1 representa os scores obtidos em cada um dos testes de funcionalidade para todos os sujeitos avaliados.

Todos os participantes selecionados eram, em 2013, pacientes ativos da extinta ABDIM – Associação Brasileira de Distrofia Muscular. Todas as escalas supracitadas de funcionalidade e caracterização da amostra foram aplicadas por fisioterapeutas treinados, funcionários da ABDIM.

Para a caracterização dos indivíduos e viabilização de um grupo bastante homogêneo utilizamos também a CIF (CIF 2003), na qual, todos os indivíduos que participaram do estudo, deveriam apresentar as mesmas características funcionais, com deficiência e incapacidade leve ou moderada no domínio de “funções do corpo” (funções neuromusculoesqueléticas e relacionadas ao movimento do tronco e dos

membros superiores) (Tabela 2) e no domínio de “atividades e participação” considerando-se a aprendizagem, comunicação e mobilidade do tronco, das mãos e braços (Tabela 3).

Tabela 1: Score obtido dos sujeitos para os testes de funcionalidade

Sujeitos	Idade	MFMTot	MFM-D3	EK	Vignos
1	20	19,79%	57,14%	21	8
2	15	61,45%	95,23%	2	6
3	24	22,90%	61,90%	17	8
4	12	40,62%	71,42%	5	7
5	12	45,83%	66,66%	6	7
6	10	63,54%	95,24%	0	6
7	13	25%	57,14%	15	8
8	16	61,46%	95,24%	1	7
9	24	36,45%	85,71%	12	7
10	20	31,25%	71,42%	14	8
11	25	29,16%	80,95%	17	9
12	26	9,37%	14,28%	22	9
13	17	40,62%	80,95%	9	7
14	22	58,33%	100%	1	7
15	19	61,46%	90,48%	2	7
16	23	15,62%	38,09%	20	8
17	14	80,20%	95,23%	marcha	2
18	12	78,12%	90,47%	marcha	3
19	25	21,87%	66,66%	16	8
20	17	89,58%	95,24%	marcha	1
21	17	37,50%	76,19%	11	8
22	15	44,79%	90,47%	9	8
23	17	27,08%	66,66%	14	8
24	27	30,21%	66,66%	11	7
25	10	91,66%	95,23%	marcha	1
26	20	43,75%	85,71%	8	7
27	12	86,45%	100%	marcha	1
28	16	17,71%	28,57%	14	8
29	15	44,79%	90,47%	12	7
30	13	84,38%	100%	marcha	2
31	32	39,58%	80,95%	11	8
32	16	39,58%	80,95%	11	7

Optamos por esses domínios, por serem os mais importantes para viabilizar a execução da tarefa proposta de tocar a tecla do computador no momento exato ou possibilitar um movimento em direção ao ambiente virtual. Desta forma, considerando-se as funções do corpo, os indivíduos avaliados apresentaram funções neuromusculoesqueléticas relacionadas ao movimento considerando o punho: funções das articulações e dos ossos leve e moderada (b7100.1 e b7100.2); força de grupos de músculos leve e moderada (b7300.1 e b7300.2); funções relacionadas a coordenação dos movimentos voluntários leve e moderado (b7602.1 e b7602.1). Considerando-se os domínios de “atividades e participação”, apesar das avaliações propostas por este trabalho serem realizadas em ambiente planejado optou-se por organizar o grupo de indivíduos com DMD utilizando os códigos da CIF seguidos dos qualificadores de desempenho (que qualifica a participação considerada como funcionalidade social) e de capacidade (que qualifica a atividade considerada como funcionalidade individual). Para que não ocorresse conflito na formação do grupo, mesmo sabendo da existência de redundância na informação, os indivíduos avaliados tiveram o mesmo grau de dificuldade na atividade e na participação. Para tanto, nas “atividades e participação” do punho considerou-se pacientes com dificuldade leve e moderada no uso fino das mãos para manipular objetos (d4402.11 e d4402.22) e pegar objetos (d4400.11 e d4400.22). Nas funções de “aprendizagem”, “aplicação de conhecimento”, “realização de tarefas” e “comunicação” todos os indivíduos tiveram no máximo deficiência leve na concentração e atenção (d160.11), na realização de uma tarefa simples (d2100.11) e na recepção de mensagens orais (d310.11).

Excluimos os indivíduos que apresentavam outras doenças associadas, indivíduos com baixo escore na escala de avaliação MFM, alterações nas funções cognitivas que impossibilitavam a colaboração e compreensão nas atividades propostas

e indivíduos que não apresentaram as características “leve” ou “moderada” nos itens funcionais segundo a CIF.

Tabela 2: Classificação mínima necessária para inclusão dos participantes em Itens funcionais da CIF: **Funções do Corpo**

Item	Classificação	Código
Funções das articulações e dos ossos	Leve e Moderada	b7100.1 e b7100.2
Força de grupo de músculos	Leve e Moderada	b7300.1 e b7300.2
Coordenação dos movimentos voluntários	Leve e Moderada	b7602.1 e b7602.1

Tabela 3: Classificação mínima necessária para inclusão dos participantes em Itens funcionais da CIF: **Atividades e Participação**

Item	Classificação	Código
Uso fino das mãos para manipular objetos	Leve e Moderada	d4402.11 e d4402.22
Pegar objetos	Leve e Moderada	d4400.11 e d4400.22
Coordenação dos movimentos voluntários	Leve e Moderada	b7602.1 e b7602.1
Concentração e Atenção	Leve	d160.11
Realização de uma tarefa simples	Leve	d2100.11
Recepção de mensagens orais	Leve	d310.11

2.2 Seleção da Tarefa

A tarefa do tipo Timing Coincidente, também nomeada por “timing antecipatório” e “timing relativo”, tem sido frequentemente utilizada no campo da aprendizagem motora (Santos et al. 2003; Freudenheim et al. 2005; Ugrinowitsch et al. 2005; Corrêa et al. 2005; Silva et al. 2013), no qual possibilita trabalhar a capacidade perceptual-motora do indivíduo para executar uma resposta motora em sincronia com a chegada de um objeto externo em um determinado ponto (Beslile 1963).

A tarefa Timing Coincidente possibilita diferentes focos de análise, pois viabiliza o ajuste de diversos parâmetros importantes a serem avaliados, como variabilidade de prática, velocidade de estímulo, idade, gênero, nível de complexidade da tarefa, nível de habilidade, conhecimento de resultados, entre outras combinações de parâmetros que se pode fazer de acordo com o objetivo proposto.

O software que contém a tarefa Timing Coincidente foi desenvolvido pelo Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EP/USP, permitindo que objetos virtuais se sobreponham a imagens do mundo real, ambos capturados por meio de uma webcam.

Dessa forma, é possível mensurar o desempenho da aprendizagem motora por meio de duas interfaces distintas, sendo:

- 1- **Interface com Contato Físico (CCF):** com a utilização do próprio teclado do computador como finalizador da tarefa, tornando-a de característica mais real. Neste caso, o alvo é um objeto virtual e o dispositivo de interação para acertar o alvo é o teclado do computador. O alvo poderá ser posicionado em qualquer lugar no mundo real do usuário, mas obrigatoriamente o indivíduo tem que utilizar o toque para efetivar a tarefa;
- 2- **Interface sem Contato Físico (SCF):** Neste caso, não é possível tocar no teclado do computador como finalizador da tarefa. Para alcance da meta, existe um alvo virtual que é representado pelo próprio dispositivo de interação (marcador posicionado sobre a mesa). Para a interface sem contato físico não existe a necessidade do toque em qualquer objeto, basta o indivíduo posicionar qualquer parte da mão ou outra estrutura do corpo sob a webcam ligada ao computador e sobre o marcador, que a tarefa será realizada, tornando-a de característica mais virtual.

A tarefa proposta é similar à desenvolvida no Bassin Anticipation Timer Model 35580 da Lafayette Instrument utilizada em diferentes trabalhos (Santos et al. 2003; Freudenheim et al. 2005; Ugrinowitsch et al. 2005; Corrêa et al. 2005) e, a tarefa Timing Coincidente utilizada no presente estudo, foi também utilizada anteriormente por Silva et al. (2013) em um estudo piloto com pessoas com Paralisia Cerebral e posteriormente por Monteiro et al. (2014), considerando a execução da tarefa Timing Coincidente da seguinte maneira: 10 cubos-3D foram exibidos simultaneamente em uma coluna vertical na tela de um monitor, que acendem em sequência (luz verde) até atingir o último cubo que é considerado o alvo (Figura 1). A pessoa deve apertar o teclado do computador ou obstruir a imagem da webcam em sincronismo com a chegada da luz no último cubo (cubo alvo). Dessa forma, a mesma tarefa pode ser executada de duas maneiras, sendo uma delas com a característica mais real, e a outra, com a característica mais virtual.

Os participantes obtiveram feedback imediato de acerto ou erro por meio de sons diferentes, previamente demonstrados.

Figura 1: Tarefa de Timing Coincidente realizada no computador

Este ambiente de RV é composto por:

- a) um computador que tenha microprocessador com capacidade de rodar o programa e criar os desenhos virtuais;
- b) webcam com capacidade óptica (lifecam cinema);
- c) Caixas de som (som de acerto ou erro).

2.3 Procedimento da Tarefa

Os participantes foram posicionados em uma sala contendo uma cadeira e uma mesa com o computador instalado a frente. A cadeira foi ajustada de acordo com o tamanho e necessidade de cada participante, assim como o apoio para os pés, de tal forma que ficaram posicionados adequadamente para viabilizar o início e a finalização da tarefa. Antes de iniciar o experimento, explicou-se o funcionamento da tarefa para cada participante: o experimentador orientou o executante a colocar uma de suas mãos sobre a mesa, em uma marca determinada referente ao sensor de posicionamento (com distância de 2-4cm do alvo) e dirigir seu olhar para a tela do computador onde estaria a tarefa; informou que ele poderia iniciar o movimento com a mão a partir do comando verbal “prepara”, que seria fornecido pelo experimentador quando a luz surgisse no ponto inicial. Foram considerados acertos, todas as respostas com intervalos entre -200 e 200ms (Corrêa et al. 2005).

As pessoas dos grupos DMD e DT foram divididas em 2 subgrupos randomicamente: (a) grupo com contato físico (CCF) – neste grupo, os participantes deveriam pressionar o teclado do computador na fase de aquisição como finalização da tarefa de timing coincidente (interface com característica mais real) e (b) grupo sem contato físico (SCF) – neste grupo, os participantes deveriam passar a mão sob a webcam durante a fase de aquisição como finalização da tarefa (interface com característica mais virtual) (Figura 2).

Figura 2: Ilustração do posicionamento dos indivíduos para a realização da tarefa CCF (A e B) e SCF (C e D)

Para todas as tarefas (CCF e SCF), durante a fase de aquisição, todos os grupos (DMD e DT) realizaram 20 tentativas da tarefa de Timing Coincidente e, 5 minutos após a finalização dessa fase, realizaram mais 5 tentativas para a fase de retenção (ambas as fases com baixa velocidade: 1,78m/s). Após o término da fase de retenção, ambos os grupos realizaram 5 tentativas em dois tipos de transferência da tarefa: a primeira transferência foi realizada com alteração da velocidade, sendo mais rápida, com 2,02m/s e, a segunda transferência foi realizada (também com 5 tentativas) com alteração da interface entre os grupos, ou seja, o grupo que realizou a aquisição na interface com contato físico fez a transferência sem contato físico e vice-versa. Essas velocidades foram utilizadas por Corrêa et al. 2005 que estudaram o desempenho de adultos de diferentes idades usando estímulos visuais em tarefas complexas de Timing

Coincidente e por Silva et al. (2013) com tarefas de timing coincidente em pessoas com paralisia cerebral (Tabela 4).

Tabela 4: Delineamento Experimental

Grupo	Indivíduos	Interface	Aquisição	Retenção	Transferência (velocidade)	Transferência (interface)
DMD	32 (16-16)	16- CCF 16- SCF	20 tentativas (1,78m/s)	5 tentativas (1,78m/s)	5 tentativas (2,02m/s)	5 tentativas (1,78m/s)
DT	32 (16-16)	16- CCF 16- SCF	20 tentativas (1,78m/s)	5 tentativas (1,78m/s)	5 tentativas (2,02m/s)	5 tentativas (1,78m/s)

2.4 Análise dos dados

Tradicionalmente, as medidas de desempenho usadas em estudos com tarefas de Timing Coincidente são: o erro absoluto (EA), que expressa a magnitude do erro, utilizando os valores em módulo; o erro constante (EC), que expressa a direção do erro (tendência de antecipação ou atraso nas respostas) e o erro variável (EV), que expressa a variabilidade de respostas, mostrando a consistência do desempenho (Schmidt 1999). Durante a prática, quando os erros absoluto, constante e variável diminuem é um indício que o sistema perceptuo-motor encontrou uma solução apropriada para resolver o seu problema de organização temporal, e tende a repetir essa solução.

Dessa forma, foram utilizadas como variáveis dependentes as medidas de desempenho, considerando os EC, EA e EV. Os erros de tempo foram definidos como a diferença entre o tempo de chegada e o tempo em que o teclado foi tocado (tarefa CCF) ou a obstrução da webcam (tarefa SCF). Os dados foram analisados em blocos de 5 tentativas, sendo 4 blocos na fase de aquisição, 1 bloco para a fase de retenção, 1 bloco para a fase de transferência com aumento da velocidade e 1 bloco para a fase de transferência com troca de interface.

As variáveis dependentes foram submetidas a alguns fatores: 2 grupos (DMD e DT), 2 tarefas (CCF e SCF), 2 blocos, com MANOVA para medidas repetidas nos dois últimos fatores. Para o fator bloco, foram feitas comparações separadas para a fase de aquisição (primeiro bloco da aquisição A1 versus último bloco dessa fase A4), fase de retenção (A4 versus bloco retenção R) e transferência (R versus bloco transferência T). As comparações post-hoc foram realizadas por meio do teste Tukey-HSD ($p < 0,05$).

Para discernir os fatores que influenciam os graus de aprendizagem durante a prática, foi realizada uma análise de regressão entre os participantes do Grupo-DMD para as tarefas CCF e SCF separadamente, independente da sequência, analisando a mudança no EA desde o primeiro bloco para o último bloco de prática, considerando idade, MFM-total, MFM-D3 e o EA no primeiro bloco.

3. RESULTADOS

Efeitos de prática

3.1 Aquisição

3.1.1 Erro constante

A análise do EC não revelou qualquer efeito significativo (Figura 3). Entretanto a tendência direcional foi de atraso tanto para o grupo-DMD (M=54ms) quanto para o grupo-DT (M=17ms).

Figura 3- Erro constante (EC) nos grupos-DMD e DT para ambas as tarefas (CCF e SCF).

A1-A4: Blocos referentes à fase de aquisição; R: blocos de retenção; TAV: transferência com aumento de velocidade; TTI: transferência com troca de interface; DMD: distrofia muscular de Duchenne; DT: desenvolvimento típico.

3.1.2 Erro absoluto

Para o EA, foram encontrados efeitos significantes para Bloco, $F(1, 60) = 13.7$, $p < .001$, $\eta^2 = .17$, indicando que o EA diminuiu com a prática (M=242ms versus M=176ms).

Interações para Blocos e Grupo foram encontradas $F(1, 60) = 4.61$, $p = .036$, $\eta^2 = .07$. O Post hoc indicou que o grupo-DMD mostrou uma maior diminuição no EA do primeiro ($M=270\text{ms}$) para o último bloco da aquisição ($M=167\text{ms}$), no grupo-DT esta diferença não ocorreu.

Além disso, efeitos significantes foram encontrados para Tarefa, $F(1, 60) = 8.21$, $p = .006$, $\eta^2 = .12$ e interação para Grupo e Tarefa $F(1, 60) = 5.06$, $p = .028$, $\eta^2 = .08$. O post hoc indicou que os erros foram maiores para o grupo-DT que realizou a tarefa SCF ($M=264\text{ms}$) do que para o grupo-DT que realizou a tarefa CCF ($M=133\text{ms}$). Para o grupo-DMD essa diferença não ocorreu (Figura 4).

Figura 4- Erro absoluto (EA) nos grupos-DMD e DT para ambas as tarefas (CCF e SCF).

A1-A4: Blocos referentes à fase de aquisição; R: blocos de retenção; TAV: transferência com aumento de velocidade; TTI: transferência com troca de interface; DMD: distrofia muscular de Duchenne; DT: desenvolvimento típico.

3.1.3 Erro variável

Para o EV, efeitos significantes para Bloco foram encontrados $F(1, 60) = 5.33$, $p = .024$, $\eta^2 = .08$. Verificou-se que o EV diminuiu com a prática ($M=212\text{ms}$ versus $M=148\text{ms}$).

Também houve efeitos significantes para Tarefa, $F(1, 60) = 4.31$, $p = .042$, $\eta^2 = .07$. Os grupos que realizaram a tarefa SCF, mostraram um maior EV ($M=216\text{ms}$) que os grupos que realizaram a tarefa CCF ($M=144\text{ms}$) (Figura5).

Figura 5- Erro variável (EV) para os grupos-DMD e DT para ambas as tarefas (CCF e SCF).

A1-A4: Blocos referentes à fase de aquisição; R: blocos de retenção; TAV: transferência com aumento de velocidade; TTI: transferência com troca de interface; DMD: distrofia muscular de Duchenne; DT: desenvolvimento típico.

3.2 Retenção

Na retenção foram observados somente efeitos e interações de Bloco (A4 versus R). Não foram encontrados efeitos para Bloco nos EC, EA e EV. Em outras palavras, o padrão de erros encontrados no último bloco da aquisição (A4) e no bloco da retenção (R) foi semelhante.

3.3 Transferência (com aumento da velocidade)

Na transferência observaram-se somente os efeitos e interações de Bloco (retenção versus transferência com aumento da velocidade de bloco).

3.3.1 Erro constante

Para o EC, houve efeito significativo para Bloco, $F(1, 60) = 34.7$, $p < .001$, $\eta^2 = .37$. O EC foi maior durante a transferência ($M=119\text{ms}$) que durante a retenção ($M=10\text{ms}$).

3.3.2 Erro absoluto

Para o EA não foram encontrados efeitos significativos para Bloco. Entretanto, houve interação entre Bloco e Grupo, $F(1, 60) = 4.60$, $p = .036$, $\eta^2 = .07$. O post hoc indicou que o EA foi maior durante o bloco de transferência ($M=214\text{ms}$) que no bloco de retenção ($M=177\text{ms}$), mas somente no caso do grupo-DMD.

3.3.3 Erro variável

Para o EV não foram encontrados efeitos ou interações significativas de Bloco.

3.4 Transferência (com alteração de interface)

Na transferência com alteração de interface observaram-se somente os efeitos e interações de Bloco (retenção versus transferência com alteração de interface).

3.4.1 Erro constante

Para o EC, não foi encontrado efeito significativo para Bloco.

3.4.2 Erro absoluto

Para o EA não foi encontrado efeito significativo para Bloco $F(1, 60) = 10.5$, $p = .002$, $\eta^2 = .15$, sendo que o EA foi maior durante a transferência ($M=254\text{ms}$) que durante a retenção ($M=174\text{ms}$). Interações para Bloco e Grupo, $F(1, 60) = 6.05$, $p = .017$, $\eta^2 = .09$ e Bloco e Tarefa $F(1, 60) = 33.1$, $p < .001$, $\eta^2 = .36$ foram encontradas. O

post hoc indicou que o EA foi maior durante o bloco de transferência ($M=317\text{ms}$) que no bloco de retenção ($M=177\text{ms}$), mas somente no caso do grupo-DMD. Além disso, os grupos que realizaram a tarefa CCF mostraram diferença do bloco de transferência ($M=362\text{ms}$) para o bloco de retenção ($M=141\text{ms}$), no grupo que realizou a tarefa SCF esta diferença não ocorreu ($M=147\text{ms}$ para 209ms , respectivamente).

3.4.3 Erro variável

Semelhante ao EA, para o EV houve efeito significativo de Bloco $F(1, 60) = 10.0$, $p = .002$, $\eta^2 = .14$, o EV foi maior durante a transferência ($M=254\text{ms}$) que durante a retenção ($M=144\text{ms}$). Interações pra Bloco e Grupo, $F(1, 60) = 6.81$, $p = .011$, $\eta^2 = .10$ e Bloco e Tarefa $F(1, 60) = 24.7$, $p < .001$, $\eta^2 = .29$ foram encontradas. O post hoc indicou que o EV foi maior durante o bloco de transferência ($M=346\text{ms}$) que no bloco de retenção ($M=145\text{ms}$), mas somente no caso do grupo-DMD. Além disso, os grupos que realizaram a tarefa CCF mostraram diferenças do bloco de transferência ($M=391\text{ms}$) para o bloco de retenção ($M=109\text{ms}$), no grupo que realizou a tarefa SCF esta diferença não ocorreu ($M=117\text{ms}$ para 180ms , respectivamente).

3.5 Análise de regressão

O resultado de nossa análise revelou um modelo de regressão significativo para a tarefa CCF, $F(14, 27) = 36.11$, $p < .001$, $r^2 = .84$, resultando na seguinte equação: $\text{melhoria} = -116 + .73 * \text{primeiro bloco de prática}$, bem como para a tarefa SCF $F(4, 27) = 6.49$, $p < 0.01$, $r^2 = .49$, com a seguinte equação de regressão: $\text{melhoria} = -496 + .79 * \text{primeiro bloco de prática}$. Por isso, apenas o EA no primeiro bloco de prática pode prever o grau de aprendizagem e desempenho e os testes motores não.

Além disso, regressões semelhantes foram conduzidas para a mudança do EA na retenção para a transferência. Não foi revelado modelo de regressão significante para a

tarefa CCF, mas sim para a tarefa SCF, $F(5, 27) = 2.94$, $P < .05$, $r^2 = .36$. Esse resultado segue na seguinte equação: $\text{melhoria} = -193 + .38 * \text{bloco de retenção}$, sugerindo que o aumento no EA da fase de retenção para transferência prediz o EA na fase de retenção, enquanto os resultados do teste do motor não contribuem para esse dado.

4. DISCUSSÃO

No presente estudo foi investigado o desempenho motor em uma tarefa de Timing Coincidente em pessoas com DMD e com DT. Um grupo realizou a tarefa em uma interface com contato físico – CCF (característica de ambiente mais real) e o outro grupo em uma interface sem contato físico – SCF (característica de ambiente mais virtual). O principal interesse foi verificar a transferência de aprendizagem, considerando os dois ambientes.

Os indivíduos que realizaram a tarefa desenvolveram diferentes tipos de estratégia para resposta ao alvo, podendo deixar a mão próxima do teclado do computador (para interface CCF) ou então próxima ao marcador sob a webcam (para interface SCF). Alguns moveram a mão durante a movimentação descendente dos cubos, a fim de fazer o movimento em sincronia com os cubos para o acerto do alvo; outros arrastaram a mão sobre a mesa para alcançar o alvo devido à dificuldade motora em vencer a gravidade. Independente das estratégias realizadas, todos os indivíduos obedeceram ao marcador de posição inicial que media de 2-4cm de distância do alvo (teclado do computador ou marcador sob a webcam).

Independente da tarefa ter sido CCF ou SCF, verificou-se uma melhora de desempenho com a prática observada por meio do EV para ambos os grupos, DMD e DT. O padrão de erros ao final da prática e também para os blocos de retenção foram similares entre os grupos, sugerindo que ambos os grupos mantiveram os resultados obtidos na fase de retenção. Considerando o EA na fase de aquisição, somente o grupo-DMD apresentou melhora de desempenho do primeiro para o último bloco. Esta

melhora não foi observada no grupo-DT, provavelmente devido ao fato dos participantes desse grupo terem apresentado acertos na tarefa desde o início em todos os blocos.

Para a fase de transferência com aumento da velocidade, todos os grupos não apresentaram diferença significativa no EV com relação à fase de retenção. Já o EC foi maior na transferência do que retenção, apresentando tendência direcional de atraso nas respostas. Para o EA, verificamos que o grupo-DT manteve os valores da retenção mesmo com o aumento da velocidade. Este resultado era esperado, considerando que tarefas com aumento de velocidade diminuem a variabilidade de respostas, mantendo o aprendizado adquirido pela fase anterior, segundo Rouse et al. 2013, Majed et al. 2012 e Masaki et al. 2102. No entanto, para o grupo-DMD, esse erro foi maior na transferência em comparação à fase de retenção. Nesse caso, mostrou-se evidente que as contraturas musculares presentes nos membros superiores (braço e cotovelo) na DMD comprometeram os movimentos de pronação e supinação do antebraço e também desvios radial e ulnar, mostrando serem uma condição relevante para considerar o menor desempenho do grupo-DMD na fase de transferência com aumento de velocidade.

Considerando a fase de transferência com alteração de interface, os EA e EV apresentaram efeitos significativos. Ambos os grupos (DMD e DT) que realizaram a tarefa CCF mostraram diferença na comparação da fase de retenção para a fase de transferência, sendo que no grupo que realizou a aquisição na tarefa SCF esta diferença não ocorreu. Isso quer dizer que para ambos os grupos, realizar aquisição em ambiente real, não possibilitou transferência para ambiente virtual. No entanto, realizar a aquisição em um ambiente virtual possibilitou transferência para o ambiente real. É

importante enfatizar que esta transferência da interface virtual para real foi observada somente no grupo-DMD, pois o grupo-DT não apresentou diferenças significativas.

Uma explicação para esses resultados, é que a tarefa na interface SCF era mais difícil do que a tarefa CCF. Podemos afirmar isso porque considerando os achados encontrados na fase de aquisição, os EA foram significativamente maiores para o grupo-DT que realizou a tarefa SCF que para o grupo-DT que realizou a tarefa CCF. Além disso, o grupo-DT que realizou a aquisição na interface CCF e transferência na interface SCF mostrou maiores tempos de resposta. Para os EV, ambos os grupos que realizaram a tarefa na interface SCF mostraram um maior EV que o grupo que realizou a tarefa na interface CCF.

Uma possível explicação aos nossos achados remete à capacidade de adaptação do ser humano às modificações do ambiente. O comportamento motor habilidoso, além de consistente, é flexível por natureza (Freudenheim et al. 2005). Principalmente em tarefas como as de Timing Coincidente, os estímulos ambientais relevantes mudam, exigindo modificações no nível da tomada de decisão e da programação motora (Bard et al. 1990; Dorfman 1977; Kerr & Blais 1991).

Provavelmente para o grupo-DMD que realizou a fase de aquisição na interface SCF, não havia estratégia pré-estabelecida (Green & Bavelier 2008; Lalor et al. 2005; Leeb et al. 2007) e, desenvolver um mecanismo eficiente de resposta de acerto foi a única opção. Assim, passar pela fase de aquisição no ambiente com característica mais virtual, fez com que uma estabilização da tomada de decisão e resposta muscular ao acerto do alvo gerasse uma condição superior à necessária para a realização da tarefa em ambiente com característica mais real. Treinar a tarefa supostamente mais difícil facilitou a execução de uma tarefa comparativamente mais fácil. Segundo Green &

Bavelier (2006, 2008), a ordem de execução das tarefas é fundamental para utilizar determinada tarefa como treino para a tarefa seguinte.

Green & Bavelier (2004) ao estudarem jogadores profissionais de vídeo-game em comparação a jogadores amadores de vídeo-game, relataram que os jogadores profissionais apresentam maior habilidade “eye-hand”, em movimentar olhos e mãos simultaneamente para acertar o alvo quando comparados aos jogadores amadores (os autores descrevem jogadores profissionais como sendo aqueles que praticam essa atividade por mais de cinco horas por dia). Essa maior habilidade é justificada pelo treino prévio em jogos mais complexos de forma intensa que, ao se deparar com tarefas mais simples, o desempenho e consistência de acertos nas respostas se torna muito superior.

Baumeister et al. (2010) e Wang et al. (2011) compararam o comportamento motor e a atividade neural correspondente a tarefas motoras desempenhadas em ambientes virtual e real. Estes estudos demonstraram que existem diferenças tanto nas respostas motoras quanto na atividade neural ao realizar tarefas similares nestes dois ambientes. Segundo os autores, as condições de prática no ambiente virtual não refletem exatamente as condições de prática do ambiente real, podendo justificar as limitações na transferência de aprendizagem do ambiente virtual para o real e vice-versa.

Baumeister et al. (2010) avaliaram a atividade eletroencefálica de jogadores de golfe, e demonstraram que existe diferença na ativação cortical quando o indivíduo realiza a tacada no ambiente real ao comparar à mesma tarefa no ambiente virtual. Os jogadores apresentaram maior número de acertos no ambiente real que no virtual. Este estudo sugere que o ambiente virtual não consegue reproduzir com perfeição o ambiente real e que possíveis diferenças em relação à informação visual e somatossensorial poderiam promover diferenças no padrão de ativação cortical.

Correlacionando nossa análise de regressão a esse raciocínio, a condição motora relacionada à idade das pessoas avaliadas não pode prever o ganho de aprendizagem motora para ambos os grupos. Ademais, quanto pior foi o desempenho observado a partir do primeiro bloco de tentativas, maior foi a melhora nos tempos de resposta, com melhora significativa no desempenho ao longo da realização da tarefa. Somado a isso, o bloco de retenção da tarefa pode prever se a fase de transferência apresentará bom desempenho, pois a manutenção da aprendizagem adquirida por repetição é claramente vista na fase de retenção.

Devido ao crescimento da utilização de tarefas virtuais em programas de reabilitação, é importante o incentivo de pesquisas para oferecer respaldo científico no momento da organização da prática clínica. Apesar da contribuição do presente estudo, algumas limitações devem ser apresentadas, como o número de repetições na fase de aquisição, que provavelmente foi pequeno para propiciar maiores interações estatísticas. No entanto, a característica da DMD de apresentar cansaço físico com tarefas mais longas dificultou o aumento de repetições. Outro fator foi a falta de utilizar duas tarefas com igual dificuldade e com características bem diferenciadas entre ambientes real e virtual. Apesar das limitações, os resultados são importantes para o incentivo de novas pesquisas considerando intervenções por meio de ambiente virtuais em pessoas com DMD.

5. CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho demonstraram que para as pessoas com DMD avaliadas, a realização de uma tarefa timing coincidente em ambiente virtual propiciou melhor desempenho ao realizar a tarefa em ambiente real. No entanto, é importante enfatizar que a tarefa praticada em ambiente virtual deve ter índices de dificuldades maiores que a tarefa em ambiente real.

Anexo A – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

APROVAÇÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em sessão de 09/10/2013, **APROVOU** o Protocolo de Pesquisa nº 367/13 intitulado: “APRENDIZAGEM MOTORA EM TAREFA VIRTUAL NA DISTROFIA MUSCULAR” apresentado pelo Departamento de FISIOTERAPIA, FONOAUDIOLOGIA E TERAPIA OCUPACIONAL

Cabe ao pesquisador elaborar e apresentar ao CEP-FMUSP, os relatórios parciais e final sobre a pesquisa (Resolução do Conselho Nacional de Saúde nº 466/12).

Pesquisador (a) Responsável: Prof. Dr. Carlos Bandeira de Mello Monteiro

Pesquisador (a) Executante: Virgínia Helena Quadrado

CEP-FMUSP, 10 de Outubro de 2013.

Prof. Dr. Roger Chammas
Coordenador
Comitê de Ética em Pesquisa

Anexo B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA OU RESPONSÁVEL LEGAL

1. NOME:

DOCUMENTO DE IDENTIDADE Nº: SEXO : .M ☐ F ☐

DATA NASCIMENTO:/...../.....

ENDEREÇO Nº APTO:

BAIRRO: CIDADE

CEP:..... TELEFONE: DDD (.....)

2. RESPONSÁVEL LEGAL

.....
NATUREZA (grau de parentesco, tutor, curador etc.)

DOCUMENTO DE IDENTIDADE :SEXO: M ☐ F ☐

DATA NASCIMENTO.:/...../.....

ENDEREÇO: Nº APTO:

BAIRRO: CIDADE:

CEP: TELEFONE: DDD (.....)

DADOS SOBRE A PESQUISA

1. TÍTULO DO PROTOCOLO DE PESQUISA: Aprendizagem Motora em Tarefa Virtual na Distrofia Muscular

PESQUISADOR RESPONSÁVEL : Prof. Dr. Carlos Bandeira de Mello Monteiro

CARGO/FUNÇÃO: Professor

PESQUISADOR EXECUTANTE: Virgínia Helena Quadrado

CARGO/FUNÇÃO: Fisioterapeuta INSCRIÇÃO CONSELHO REGIONAL Nº 132728-F

UNIDADE DO HCFMUSP: FOFITO – Faculdade de Fonoaudiologia, Fisioterapia e Terapia Ocupacional

2. AVALIAÇÃO DO RISCO DA PESQUISA: Sem riscos para a saúde do participante

3. DURAÇÃO DA PESQUISA : 24 meses

FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

1 – Essas informações estão sendo fornecidas para sua participação voluntária neste estudo, que visa estudarmos se há ou não aprendizagem motora por meio de uma tarefa virtual sem contato físico quando comparada à mesma tarefa com contato físico;

2 – O participante realizará a tarefa de um jogo eletrônico frente a um computador, pressionando o botão indicado quando solicitado e também passando mão sobre uma webcam quando solicitado, tendo a duração total de aproximadamente 10 minutos;

3 – Em nenhum momento a tarefa apresentará qualquer risco à saúde do participante ou qualquer desconforto. O participante poderá desistir de cumprir a tarefa a qualquer momento sem prejuízos ou custos e sem necessidade de explicação;

4 – Trata-se de um estudo experimental testando a hipótese de que é possível ocorrer aprendizagem motora dentro de um ambiente virtual, realizando uma tarefa com contato físico e sem contato físico. Somente no final do estudo e após a análise dos dados poderemos concluir se ocorrerá ou não aprendizagem motora;

5 – Os resultados obtidos nesta pesquisa serão divulgados em publicações científicas, mas os dados pessoais de qualquer participante não serão mencionados;

6 – O participante que assim o desejar poderá tomar conhecimento dos próprios resultados, ao final desta pesquisa;

() Desejo conhecer os meus resultados

() Não desejo conhecer os meus resultados

7 – Garantia de acesso: em qualquer etapa do estudo, você terá acesso aos profissionais responsáveis pela pesquisa para esclarecimento de eventuais dúvidas. O principal investigador

é o Prof. Dr. Carlos Bandeira de Mello Monteiro, que pode ser encontrado no seguinte endereço: Escola de Artes, Ciências e Humanidades - Universidade São Paulo. Av. Arlindo Bértio, 1000, sala A1 – T04D – tel: 3091-8141. Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) –Av. Dr. Arnaldo, 455 – Instituto Oscar Freire – 2º andar– tel: 3061-8004, FAX: 3061-8004– E-mail: cep.fm@usp.br;

8 – É garantida a liberdade da retirada de consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo, sem qualquer prejuízo à continuidade de seu tratamento na Instituição;

9 – Direito de confidencialidade – As informações obtidas serão analisadas em conjunto com outros pacientes, não sendo divulgado a identificação de nenhum paciente;

10 – Despesas e compensações: não há despesas pessoais para o participante em qualquer fase do estudo, incluindo exames e consultas. Também não há compensação financeira relacionada à sua participação. Se existir qualquer despesa adicional, ela será absorvida pelo orçamento da pesquisa;

11 – O pesquisador tem o compromisso de utilizar os dados e o material coletado somente para esta pesquisa.

Acredito ter sido suficientemente informado à respeito das informações que li ou que foram lidas para mim, descrevendo o estudo "Aprendizagem Motora em Tarefa Virtual na Distrofia Muscular". Eu discuti com o Prof. Dr. Carlos Bandeira de Mello Monteiro e/ou com a Fisioterapeuta Virgínia Helena Quadrado sobre a minha decisão em participar nesse estudo. Ficaram claros para mim quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que minha participação é isenta de despesas e que tenho garantia da continuidade do tratamento dentro da Instituição que já frequento. Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidades, prejuízos ou perda de qualquer benefício que eu possa ter adquirido, ou no meu atendimento neste Serviço.

----- Data / /

Assinatura do
paciente/representante legal*

* Para casos de pacientes menores de 18 anos, analfabetos, semi-analfabetos ou portadores de deficiência auditiva ou visual.

----- Data / /

Assinatura da testemunha

(Somente para o responsável do projeto)

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido deste paciente ou representante legal para a participação neste estudo.

----- Data / /

Assinatura do responsável
pelo estudo

Anexo C – Carta de autorização da ABDIM

Ao Comitê de Ética em Pesquisa do Sistema Plataforma Brasil,

Afirmo, para os devidos fins, que a Associação Brasileira de Distrofia Muscular (ABDIM) autoriza a realização da coleta de dados para a execução do projeto de mestrado da aluna Virgínia Helena Quadrado intitulado “Aprendizagem motora em tarefa virtual na Distrofia Muscular”, a partir do Consentimento Livre e Esclarecido dos pacientes e/ou responsáveis pelos pacientes com Distrofia Muscular de Duchenne que realizam acompanhamento clínico e terapêutico na instituição supracitada, sob orientação do Prof. Dr. Carlos Bandeira de Mello Monteiro.

São Paulo, 25 de Abril de 2013

Associação Brasileira de Distrofia Muscular
Mônica Fanezi - Wilson e Sá
RG: 1.1698788-4
(11) 3814-8562

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Azuma RT. A survey of augmented reality. *Presence (Camb)* 1997;6(4): 355-385.

Bach JR. Evolução natural. In: Bach JR. *Guia de exame e tratamento das doenças neuromusculares*. São Paulo: Santos; 2004. pp.5-11.

Beslile JL. Accuracy, reability and refractoriness in a coincidence-anticipation task. *Res Q Exerc Sport* 1963;34: 271-281.

Brunherotti MA, Sobreira C, Rodrigues-Júnior AL, De Assis MR, Terra Filho J, Baddini Martinez JA. Correlations of Egen Klassifikation and Barthel Index scores with pulmonary function parameters in Duchenne muscular dystrophy. *Heart Lung* 2007;36(2): 132-9.

Burdea GC. Haptic feedback for virtual reality. In: *Proceedings of the International Workshop on Virtual Reality and Prototyping*, Laval, France; 1999 pp. 87- 96.

Bushby K, Finkel R, Birnkrant DJ, Case LE, Clemens PR, Cripe L, et al. Diagnosis and management of Duchenne muscular dystrophy, part 1: diagnosis, and pharmacological and psychosocial management. *Lancet Neurol* 2010;9(1):77-93.

Caromano FA. Características do portador de distrofia muscular de Duchenne: Revisão. *Arq Cienc Saúde Unipar* 1999;3(3):211-218.

Chang YJ, Chen SF, Huang JD. A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. *Research in Developmental Disabilities* 2002;32:2566–2570.

Chiviackowsky S, Tani G. Efeitos da frequência de conhecimento de resultados da aprendizagem de diferentes programas motores generalizados. *Rev. Paul. Educ. Fís* 1997;11(1): 15-26.

Classificação Internacional de funcionalidade, Incapacidade e Saúde – CIF. [Centro Colaborador da Organização Mundial da Saúde para Família de Classificações

Internacionais, organização e coordenação da tradução Cássia Maria Buchalla]. São Paulo: Editora da Universidade; 2003.

Corrêa UC, Oliveira PHV, Oliveira JA, Freudenheim AM, Paroli R, Ugrinowitsch H, et al. "Timing" coincidente em tarefas complexas: estudo exploratório do desempenho de adultos de diferentes idades em diferentes velocidades de estímulo visual. *Rev. bras. Educ. Fís. Esp* 2005;19(4): 307-15.

Costa RM, Carvalho LA. *Experimentando um ambiente virtual com pacientes neuropsiquiátricos*. II Conferência Internacional de Tecnologias de Informação e Comunicação na Educação, Challenges 2001. pp.529-546.

Cotton S, Voudouris NJ, Greenwood KM. Intelligence and Duchenne muscular dystrophy: Full-scale, verbal and performance intelligence quotients. *Dev Med Child Neurol* 2001;43: 497–501.

Cyrulnik SA, Fee RJ, Batchelder A, Kiefel J, Goldstein E, Hinton VJ. Cognitive and adaptive deficits in young children with Duchenne muscular dystrophy (DMD). *J Int Neuropsychol Soc* 2008;14: 853-861.

Dessing, Joost C, Peper (Lieke) CE, Beek Peter J. A comparison of real catching with catching using stereoscopic visual displays. *Ecol Psychol* 2004;16(1): 1-21.

Diniz G, Lasmar L, Giannetty J. Duchenne dystrophy: motor assessment. *Arq Neuro psiquiatr* 2012;70(6):416-421.

Emery AEH. The muscular dystrophies (Fortnightly Review). *BMJ* 1998;317(7164): 991-996.

Freudenheim A, Oliveira J, Corrêa U, Oliveira P, Dantas L, Silva J, et al. Efeito da velocidade do estímulo no desempenho de uma tarefa complexa de timing coincidente em crianças e adolescentes. *Rev. Port. Cien. Desp* 2005;5(2): 160-166.

Garbin TR, Dainese CA, Kirner C. "Sistema de realidade aumentada para trabalho com crianças com necessidades especiais". In: Tori R, Kirner C, Siscouto R. *Fundamentos e*

tecnologias de realidade virtual e aumentada. Livro do pré-simpósio VIII Symposium on Virtual Reality. 2006. pp.289-297.

Green CS, Bavelier D. The cognitive neuroscience of video games. In: Messaris & Humphreys (ed) *Digital Media: Transformation in Human Communication*. 2004.

Green CS, Bavelier D. Effect of action video games on the spatial distribution of visuospatial attention. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 2006;32(6): 1465–78.

Green CS, Bavelier D. Exercising your brain: A review of human brain plasticity and training-induced learning. *Psychol Aging* 2008;23(4): 692–701.

Hashimoto Y, Ushiba J, Kimura A, Liu M, Tomita Y. Change in brain activity through virtual reality based brain-machine communication in a chronic tetraplegic subject with muscular dystrophy. *BMC Neurosci*. 2010. doi: 10.1186/1471-2202-11-117.

Huber M, Rabin B, Docan C, Burdea GC, Abdel Baky M, Golomb MR. Feasibility of modified remotely monitored in-home gaming technology for improving hand function in adolescents with cerebral palsy. *IEEE Trans Inf Technol Biomed* 2010;14(2):526-534.

Hurkmans HL, Van Den Berg-Emons RJ, Stam HJ. Energy expenditure in adults with cerebral palsy playing Wii Sports. *Arch Phys Med Rehabil* 2010;91(10):1577-1581.

Jagadha V, Becker LE. Brain morphology in Duchenne muscular dystrophy: a Golgi study. *Pediatr Neurol* 1988 Mar-Apr;4(2):87-92.

Jung IY, Chae JH, Park SK, Kim JH, Kim JY, Kim SJ, et al. The correlation analysis of functional factors and age with Duchenne muscular dystrophy. *Ann Rehabil Med* 2012;36(1):22-32.

Kirner C, Tori R. Fundamentos de realidade aumentada. In: *Fundamentos e tecnologias de realidade virtual e aumentada*. Livro do pré-simpósio VIII Symposium on Virtual Reality. 2002. pp.22-38.

Lalor EC, Kelly SP, Finucane C, Burke R, Smith R, Reilly RB, et al. Steady-state VEP-based brain-computer interface control in an immersive 3D gaming environment. *EURASIP J Appl Signal Process* 2005;19: 3156-3164.

Leeb R, Lee F, Keinrath C, Scherer R, Bischof H, Pfurtscheller G. Brain computer communication: motivation, aim, and impact of exploring a virtual apartment. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2007;15: 473-482.

Lianz S. Distrofias musculares. In: Leitão RA, Leitão AV, Ancellotti C. *Medicina de Reabilitação*. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan 2001. pp.381-392.

Lue YJ, Lin RF, Chen SS, Lu YM. Measurement of the functional status of patients with different types of muscular dystrophy. *Kaohsiung J Med Sci* 2009;25(6):325-333.

Magill RA. *Aprendizagem motora: conceitos e aplicações*. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher; 2000.

Milgram P, Kishino F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems Special Issue on Networked Reality* 1994;77(12): 1321-1329.

Monteiro CBM. *Realidade virtual na paralisia cerebral*. São Paulo: Ed Plêiade; 2011.

Monteiro CBM, Massetti T, Silva TD, Van Der Kamp J, Abreu LC, Leone C, et al. Transfer of motor learning from virtual to natural environments in individuals with cerebral palsy. *Res Dev Disabil* 2014;35:2430-2437.

Munih M, Bardorfer A, Ceru B, Bajd T, Zupan A. Force exertion capacity measurements in haptic virtual environments. *Int J Rehabil Res* 2010;33(1):34-42.

Nair SKP, Vasanth A, Gourie-Devi M, Taly AB, Rao S, Gayrthri N, et al. Disabilities in children with Duchenne muscular dystrophy: a profile. *J Rehabil Med* 2001;33: 147-149.

Prochnow DN, Santos MCC, Kooper RAP. *Geração de tato em ambientes virtuais*. [Dissertação]. Porto Alegre: Faculdade de Informática, Pontífica Universidade Católica do Rio Grande do Sul; 2003.

Ron-Angevin R, Diaz-Estrella A. Brain-computer interface: changes in performance using virtual reality techniques. *Neurosci Lett* 2009;449: 123-127.

Rosman NP. The cerebral defect and myopathy in Duchenne muscular dystrophy. A comparative clinicopathological study. *Neurol* 1970 Apr;20(4):329-35.

Santos GA, Caromano FA, Vainzof M, Zatz M. Caracterização da passagem da postura de bipedestação para a de sedestação no solo, em crianças portadoras de distrofia muscular de Duchenne. *Rev Ter Ocup Univ* 2000;13(1): 31-36.

Santos NM, Rezende MM, Terni A, Hayashi MCB, Favero FM, Quadros AAJ, et al. Perfil clínico e funcional dos pacientes com Distrofia Muscular de Duchenne assistidos na Associação Brasileira de Distrofia Muscular (ABDIM). *Revista Neurociências* 2006;14(1): 15-22.

Santos S, Corrêa UC, Freudenheim AM. Variabilidade de performance numa tarefa de “timing” antecipatório em indivíduos de diferentes faixas etárias. *Rev. Paul. Educ. Fís* 2003;17(2): 154-62.

Schmidt RA, Lee TD. *Motor control and learning: a behavioral emphasis*. 3ªed. Champaign: Human Kinetics; 1999.

Servais L, Deconinck N, Moraux A, Benali M, Canal A, Van Parys F, et al. Innovative methods to assess upper limb strength and function in non-ambulant Duchenne patients. *Neuromuscul Disord* 2013;23(2):139-148.

Shih CH, Chang ML, Shih CT. A new limb movement detector enabling people with multiple disabilities to control environmental stimulation through limb swing with a gyration air mouse. *Res Dev Disabil* 2010;31:875-880.

Silva TD, Monteiro CBM, Hasue RH, Moura MCDS, Correa AGD, Ficheman IK, et al. Aprendizagem motora em tarefa virtual na Paralisia Cerebral. *Temas sobre Desenvolvimento* 2013;104: 47-53.

Skalky AJ, McDonald CM. Prevention and management of limb contractures in neuromuscular diseases. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2012;23(3): 675-687.

Souza S, Melo E. Distrofias musculares. In: Werneck L. *Tratamento das doenças neuromusculares*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2000. pp.534-536.

Spence C. *Crossmodal Attention and Multisensory Integration: Implications for Multimodal Interface Design*. Proceedings of 5th International Conference on Multimodal Interfaces. Vancouver: Canada. 2003. ACM Press p. 3.

Tani G. *Hierarchical organization of an action program and the development of skilled actions*. Technical Report. Sheffield: Department of Psychology of University of Sheffield; 1995.

Tori R, Kirner. Fundamentos de realidade virtual. In: Tori R, Kirner C, Siscouto R, Organizadores. *Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada*. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação – SBC. 2006. pp.7-22.

Tracey I, Scott RB, Thompson CH, Dunn JF, Barnes PRJ, Styles P, et al. Brain abnormalities in Duchenne muscular dystrophy: phosphorus-31 magnetic resonance spectroscopy and neuropsychological study. *Lancet* 1995;345: 1260-1264.

Tsai PY, Yang TF, Chan RC, Huang PH, Wong TT. Functional investigation in children with spina bifida - Measured by the Pediatric Evaluation of Disability Inventory (PEDI). *Childs Nerv Syst* 2002;18(1-2): 48-53.

Ugrinowitsch H, Corrêa UC, Tani G. Perturbação perceptiva e processo adaptativo na aprendizagem de uma tarefa de “timing” coincidente. *Rev. Bras. Educ. Fís. Esp. São Paulo* 2005;19:4.

Umphred DA. *Fisioterapia neurológica*. 2. ed. São Paulo: Manole; 1994.

Vestergaard P. Fracture risk in patients with muscular dystrophy and spinal muscular atrophy. *J Rehabil Med* 2001;33:150-155.

Vignos PJ, Archibald KC. Maintenance of ambulation in childhood muscular dystrophy. *J Chron Dis* 1960;12(2):273-89.

Vilozni D, Bar-Yishay E, Gur I, Shapira Y, Meyer S, Godfrey S. Computerized respiratory muscle training in children with Duchenne muscular dystrophy. *Neuromuscul Disord* 1994;4(3):249-55.

Visser J. Developmental coordination disorder: a review of research on subtypes and comorbidities. *Hum Mov Sci* 2003;22:479-493.

Vissers M, Berg-Emons R, Sluis T, Bergen M, Stam H, Bussmann H. Barriers to and facilitators of everyday physical activity in persons with a spinal cord injury after discharge from the rehabilitation centre. *J Rehabil Med* 2008;40:461-467.

Vuiller C, Payan C, Girardot F, Feranian J, Iwaz J, Bérard C, et al. Responsiveness of the Motor Function Measure. In: Neuromuscular Diseases. *Arch Phys Med Rehabil* 2012 Dec;93(12):2251-6.

Wang M, Reid D. Virtual reality in pediatric neurorehabilitation: attention deficit hyperactivity disorder, autism and cerebral palsy. *Neuroepidemiology* 2011;36(1):2-18.

Wicksell RK, Kihlgren M, Melin L, Eeg-Olofsson O. Specific cognitive deficits are common in children with Duchenne muscular dystrophy. *Dev Med Child Neurol* 2004;46: 154–159.

Winstein CJ, Merians AS, Sullivan KJ. Motor learning after unilateral brain damage. *Neuropsychologia* 1999;37: 975-987.

Yano H, Ogi T, Hirose M. Development of haptic suit for whole human body using vibrators. In: *Transactions of the Virtual Reality Society of Japan* 1998;3(3):141-148.

Yoshioka M, Okuno T, Honda Y, Nakano Y. Central nervous system involvement in progressive muscular dystrophy. *Arch Dis Child* 1980;55(8):589-94.

Zatz M. Genômica das doenças neuromusculares e neurodegenerativas. In: *Genômica*. São Paulo: Ed. Atheneu. 2004. pp.347-360.