

Priscilla Rezende Pereira Figueiredo

**DESEMPENHO E ESTRATÉGIA DE MOVIMENTO DE ADOLESCENTES COM
HEMIPLEGIA ESPÁSTICA E COM DESENVOLVIMENTO NORMAL EM TAREFA
DE PRECISÃO: INFLUÊNCIA DE *CONSTRAINTS* DA TAREFA, DO INDIVÍDUO E
DO SUPORTE CONTEXTUAL**

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional / UFMG

2014

Priscilla Rezende Pereira Figueiredo

**DESEMPENHO E ESTRATÉGIA DE MOVIMENTO DE ADOLESCENTES COM
HEMIPLEGIA ESPÁSTICA E COM DESENVOLVIMENTO NORMAL EM TAREFA
DE PRECISÃO: INFLUÊNCIA DE *CONSTRAINTS* DA TAREFA, DO INDIVÍDUO E
DO SUPORTE CONTEXTUAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências da Reabilitação.

Área de Concentração: Desempenho Funcional Humano

Orientadora: Prof.^a Dra. Marisa Cotta Mancini

Co-orientadora: Prof.^a Dra. Paula Lanna Pereira da Silva

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional / UFMG

2014

F475d Figueiredo, Priscilla Rezende Pereira
2014 Desempenho e estratégia de movimento de adolescentes com hemiplegia espástica e com desenvolvimento normal em tarefa de precisão: influência de *constraints* da tarefa, do indivíduo e do suporte contextual. [manuscrito] / Priscilla Rezende Pereira Figueiredo – 2014.
64 f., enc.: il.

Orientadora: Marisa Cotta Mancini
Co-orientadora: Paula Lanna Pereira da Silva

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.
Bibliografia: f. 55-57

1. Hemiplegia – adolescentes - Teses. 2. Paralisia Cerebral - Teses. 3. Membros Superiores – Teses. 4. Transtornos motores - Teses. I. Mancini, Marisa Cotta. II. Silva, Paula Lanna Pereira da. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. IV. Título.

CDU: 615.851.3

Ficha catalográfica elaborada pela equipe de bibliotecários da Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS EM REABILITAÇÃO
 DEPARTAMENTOS DE FISIOTERAPIA E DE TERAPIA OCUPACIONAL
 SITE: www.eeffto.ufmg.br/mreab E-MAIL: mreab@eeffto.ufmg.br FONE/FAX: (31) 3409-4781/7395

ATA DE NÚMERO 212 (DUZENTOS E DOZE) DA SESSÃO DE ARGUIÇÃO E DEFESA DE DISSERTAÇÃO APRESENTADA PELA CANDIDATA **PRISCILLA REZENDE PEREIRA FIGUEIREDO** DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO.

Aos 30 (trinta) dias do mês de abril do ano de dois mil e quatorze, realizou-se na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, a sessão pública para apresentação e defesa da dissertação “**DESEMPENHO E ESTRATÉGIA DE MOVIMENTO DE ADOLESCENTES COM HEMIPLEGIA ESPÁSTICA E COM DESENVOLVIMENTO NORMAL EM TAREFA DE PRECISÃO: Influência de Constraints da Tarefa, do Indivíduo e do Suporte Contextual**”. A banca examinadora foi constituída pelos seguintes Professores Doutores: Marisa Cotta Mancini, Sérgio Teixeira da Fonseca e Daniela Virgínia Vaz, sob a presidência da primeira. Os trabalhos iniciaram-se às 08h30min com apresentação oral da candidata, seguida de arguição dos membros da Comissão Examinadora. **Após avaliação, os examinadores consideraram a candidata aprovada e apta a receber o título de Mestre, após a entrega da versão definitiva da dissertação.** Nada mais havendo a tratar, eu, Eni da Conceição Rocha, secretária do Colegiado de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação dos Departamentos de Fisioterapia e de Terapia Ocupacional, da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, lavrei a presente Ata, que depois de lida e aprovada será assinada por mim e pelos membros da Comissão Examinadora.

Belo Horizonte, 30 de abril de 2014.

Professora Dra. Marisa Cotta Mancini *Marisa Cotta Mancini*

Professor Dr. Sérgio Teixeira da Fonseca *Sérgio Teixeira da Fonseca*

Professora Dra. Daniela Virgínia Vaz *Daniela Virgínia Vaz*

Eni da Conceição Rocha 010400893 *Eni da Conceição Rocha*

Secretária do Colegiado de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS EM REABILITAÇÃO
 DEPARTAMENTOS DE FISIOTERAPIA E DE TERAPIA OCUPACIONAL
 SITE: www.eeffto.ufmg.br/mreab E-MAIL: mreab@eeffto.ufmg.br
 FONE/FAX: (31) 3409-4781

PARECER

Considerando que a dissertação de mestrado de PRISCILLA REZENDE PEREIRA FIGUEIREDO intitulada “DESEMPENHO E ESTRATÉGIA DE MOVIMENTO DE ADOLESCENTES COM HEMIPLEGIA ESPÁSTICA E COM DESENVOLVIMENTO NORMAL EM TAREFA DE PRECISÃO: Influência de Constraints da Tarefa, do Indivíduo e do Suporte Contextual”, defendida junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, nível mestrado, cumpriu sua função didática, atendendo a todos os critérios científicos, a Comissão Examinadora **APROVOU** a defesa de dissertação, conferindo-lhe as seguintes indicações:

Nome dos Professores/Banca	Aprovação	Assinatura
Marisa Cotta Mancini	APROVADA	<i>Marisa Cotta Mancini</i>
Sérgio Teixeira da Fonseca	Aprovado	<i>Sérgio Teixeira da Fonseca</i>
Daniela Virgínia Vaz	Aprovada	<i>Daniela Virgínia Vaz</i>

Belo Horizonte, 30 de abril de 2014.

Leani Souza Maximo Pereira

Colegiado de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação/EEFFTO/UFMG

Profª. LEANI SOUZA MAXIMO PEREIRA
 Coordenadora do Colegiado
 Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação
 Inscrição UFMG:06081X Inscrição SIAPE:8319760

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por ter tornado esta jornada mais suave ao me fazer compreender que a travessia de desertos não duram para sempre, ao contrário, são seguidas de paz, alegria, e uma sensação reconfortante de dever cumprido.

Aos meus pais, Wilton e Ana, por compartilharem dos meus sonhos me fazendo acreditar que é possível alcançá-los. Vocês são meus exemplos de que os ingredientes fé, trabalho, persistência e amor não podem resultar em outra coisa que não o sucesso, seja na vida profissional ou pessoal.

Às minhas irmãs, Gabi e Nina, mestres em me proporcionar valiosos momentos de descontração mesmo quando o estresse era algo que predominava meu interior (e meu exterior também...). Vocês foram essenciais nesse processo!

Ao Lucas, por em momento algum ter preferido se ausentar quando meus planos se resumiam a trabalho. Obrigada por ter participado ativamente de cada etapa do meu mestrado, por ter me ouvido treinar a apresentação da qualificação incontáveis vezes, por ter me ajudado no recrutamento de voluntários para a coleta, por ter se aprofundado nos conhecimentos do Matlab para me ajudar, pela companhia no laboratório até altas horas enquanto eu processava meus dados, por ter sido o “leitor leigo” (que de leigo já não tinha mais nada) da minha dissertação, por ter permitido que as discussões dos meus resultados fossem pauta constante nas nossas conversas, enfim, por você ser um parceiro infinitamente melhor do que um dia eu poderia imaginar ter ao meu lado.

À minha orientadora, Marisa Mancini, que me inspira com sua paixão pela pesquisa, com sua dedicação e seriedade em tudo que faz (mesmo não sendo pouca coisa!) e, principalmente, com a sabedoria com que conduz seu grupo de pesquisa. O fato de você orquestrar com louvor o nosso grupo é, com certeza, o que faz com que os nossos produtos finais tenham a qualidade que você tanto preza. Obrigada por ter sido muito mais que uma orientadora, por ter sido sensível o bastante para perceber sinais de aflição no meu olhar e me apoiar, consolar e incentivar! Obrigada por ter

me orientado tão de perto, por ter me passado segurança ao presenciar minhas primeiras coletas, pelas valiosas correções na redação deste trabalho e pela disponibilidade oferecida mesmo quando suas tarefas excediam os limites da sua agenda! Sinto-me verdadeiramente privilegiada por ter sido sua mestrande e tenho certeza de que levarei seus ensinamentos por toda a vida!

À minha co-orientadora, Paula Lanna, por sua energia contagiante, pelas ideias geniais, pela entrega tão intensa a essa pesquisa e por não me deixar perder as esperanças quando as coisas não aconteciam conforme o esperado. Obrigada por ter aplicado seu talento nesse projeto, por ser tão clara ao se expressar, e por ter o dom de simplificar conteúdos que à primeira vista me pareciam tão complexos. Não poderia deixar de agradecer pelas nossas conversas, reflexões, por você ter oferecido seu colo nos meus momentos de conflito, e pelas palavras de carinho e incentivo que me impulsionaram a chegar até aqui. Ter podido contar com você durante esse processo foi, definitivamente, uma das melhores coisas que me aconteceram.

Aos professores Sérgio Fonseca, Daniela Vaz e Juliana Ocarino pelas valiosas contribuições que não poderiam vir de outra fonte que não de vocês. Seus comentários e sugestões enriqueceram grandemente esse trabalho. Admiro o pensamento inovador de vocês e sinto-me privilegiada por ter contado com seus ensinamentos durante minha formação. Vocês são mais que professores, são grandes impulsionadores da nossa profissão.

À querida amiga Bruna Avelar, minha companheira de todas as horas (todas mesmo!). Ainda que eu escreva infinitas linhas de agradecimento eu não seria capaz de expressar com exatidão o tamanho da minha gratidão por ter podido contar com o seu apoio, amizade e dedicação durante todas as etapas deste processo. Você se empenhou com meu trabalho como se ele fosse o seu próprio, se envolvendo intensamente em cada etapa e dividindo comigo cada momento (seja de alegria ou tristeza). É com muito prazer que eu compartilho essa vitória com você. Como eu te disse uma vez, esse título não é meu, é nosso.

À querida amiga Giovanna Amaral, que nunca mediu esforços para me ajudar em momentos que foram críticos para a realização desse trabalho, como a formulação do set up de coleta e a criação de modelos e pipelines. Sua generosidade é admirável e com certeza lhe renderá muitos frutos.

À querida amiga e companheira de trabalho, Marina Brandão, pela oportunidade de conviver e trabalhar com uma pessoa extremamente competente, dedicada à pesquisa em reabilitação, e que luta pela qualidade dos atendimentos oferecidos às crianças e adolescentes com deficiências. Obrigada especialmente por ter aberto as portas da AMR para que eu tivesse acesso aos voluntários com hemiplegia, por ter sido tão compreensiva durante todo esse processo, e pela torcida constante.

Às alunas de iniciação científica, Camila, Bruna e Rachel, pelo envolvimento nas coletas de dados, pela seriedade com que cuidaram de cada detalhe para que tudo corresse conforme o previsto e por tornarem nosso ambiente de trabalho prazeroso e divertido.

Aos voluntários da pesquisa e seus pais, que acreditaram no potencial desse trabalho aceitando participar dele mesmo que nenhum benefício direto e imediato pudesse ser oferecido em troca. Agradeço pelo interesse e disponibilidade, sem os quais a concretização desse estudo não teria sido possível.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, em especial à Marina Pinheiro, Roberta Bernardi, Emmanuelle Bozzi, Adriana Drummond, Rejane Vale, Kennea Almeida, Maíra Amaral, Karol Albuquerque e Renan Resende (Bruna e Giovanna precisam ser citadas novamente nessa parte dos agradecimentos). Agradeço pela parceria, pelos incentivos, pela torcida, pelas ricas discussões, enfim, por ter convivido com pessoas tão especiais e talentosas durante esse período.

Aos funcionários do colegiado de Pós-Graduação e dos departamentos de Fisioterapia e Terapia Ocupacional da EEEFTO, Marilane, Eni, Antônio Sérgio, Rose, Margareth e Toninha, pela paciência e por sempre terem me atendido com dedicação.

RESUMO

Quando adolescentes com paralisia cerebral (PC) do tipo hemiplegia espástica são comparados à adolescentes com desenvolvimento normal (DN) durante a execução de tarefas de membro superior, o pior desempenho e o uso de estratégias de movimento consideradas atípicas exibidos pelos primeiros tendem a ser atribuídos à presença e à gravidade da lesão neurológica nesse grupo. O objetivo deste estudo foi verificar a influência de outros fatores, como demanda da tarefa, suporte contextual oferecido e nível de habilidade dos indivíduos no que diz respeito ao uso do membro superior, que poderiam estar por trás das diferenças entre adolescentes com e sem hemiplegia espástica em uma tarefa de apontamento recíproco. Vinte participantes (nove hemiplégicos e 11 com DN) foram solicitados a usar uma haste de madeira para tocar, continua e reciprocamente, alvos dispostos em pares com máxima precisão e velocidade. A realização dessa tarefa era dificultada ou facilitada através de manipulações no tamanho dos alvos a serem tocados – constraint da tarefa; na adequação da haste usada para tocá-los – constraint contextual; e no membro superior utilizado (i.e. preferencial ou não afetado x não preferencial ou afetado) – constraint do indivíduo. Os resultados deste estudo apontam para a forte influência de constraints nos três níveis descritos acima no desempenho e nas estratégias de movimento exibidos pelos adolescentes com e sem hemiplegia. Embora o desempenho dos participantes com PC tenha sido inferior ao daqueles com DN, a magnitude das diferenças entre grupos foram mais evidentes quando a demanda de precisão da tarefa era aumentada e quando o membro superior não preferencial era usado, ou seja, quando a relação capacidade/demanda entre os adolescentes dos grupos PC e DN era mais discrepante. Com relação às estratégias de movimento, a exposição à condições de tarefa mais desafiadoras evidenciaram são só diferenças, mas também semelhanças nos ajustes exibidos pelos adolescentes com e sem hemiplegia. Em comparação aos adolescentes com DN, aqueles com hemiplegia exibiram menor magnitude de movimentação de cotovelo e maior magnitude de movimentação de ombro quando utilizaram o membro superior não preferencial para executar a tarefa. Por outro lado, todos os participantes, independente de grupo, exibiram aumentos comparáveis na magnitude de movimentação de tronco e pelve quando usaram o membro superior não preferencial para executar a tarefa com maior demanda de precisão. Explicações

para o uso dessas estratégias foram propostas e contribuíram para a conclusão de que é mais provável que elas reflitam um mecanismo de adaptação para lidar com as exigências da tarefa, dadas as capacidades do indivíduo, do que uma manifestação essencialmente patológica.

Palavras-chave: Hemiplegia espástica. Tarefa de apontamento recíproco. Desempenho. Estratégia de movimento. Demanda de precisão. Relação capacidade/demanda.

ABSTRACT

When teenagers with hemiplegic cerebral palsy (CP) are compared to typically developing (TD) teenagers during the execution of upper limb tasks, worse performance and atypical movement strategies presented by the former are usually attributed to the presence or severity of their neural damage. We aimed to verify the influence of other factors, such as task accuracy demands, contextual support and individuals' skills, that could be underlying the differences between teenagers with and without spastic hemiplegia during a reciprocal aiming task. Twenty participants (nine with hemiplegic CP and 11 with typical development) used a pointer to continuously hit two targets with maximum speed and accuracy. Task conditions were manipulated by changing the targets' size; by modifying the pointer's adequacy for precision tasks; and by switching between individual's preferred/non-affected and non-preferred/affected upper limbs. The results point to a strong influence of the experimental manipulations on the behavior of both teenagers with and without CP. Even though hemiplegic teenagers exhibited worse performance compared to TD teenagers, the magnitude of the differences was more pronounced when the capability/demand relation was more dissimilar between those individuals. Regarding movement strategies, teenagers with hemiplegia, compared to those with typical development, presented lower magnitude of elbow movements and increased magnitude of shoulder movements when performing the task with their less skilled upper limb. However, in spite of those differences, hemiplegic and TD teenagers showed comparable increases in trunk involvement when facing more challenging task conditions, which highlights similarities in the behavior of individuals with and without CP in face of increases in task demands. We propose reasons as to why such strategies were implemented and conclude that they reflect a necessary adaptation to the conditions under which the task is performed, given the individuals' capabilities, and not a primarily pathological manifestation.

Keywords: Spastic hemiplegia. Reciprocal aiming task. Task performance. Movement strategies. Accuracy constraints. Capability/demand relation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivo Específico.....	14
2 MATERIAIS E MÉTODO	16
2.1 Participantes.....	16
2.2 Instrumentação e Procedimentos.....	17
2.3 Redução dos dados	23
2.4 Análise Estatística	26
3 ARTIGO	27
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
REFERÊNCIAS	55
ANEXO A	58
APÊNDICE A	59

1 INTRODUÇÃO

Indivíduos com paralisia cerebral (PC) do tipo hemiplegia espástica frequentemente experienciam dificuldades na realização de atividades que requerem o uso dos membros superiores (KLINGELS *et al.*, 2012; BRAENDVIK *et al.*, 2010; VAN ZELST *et al.*, 2006; FEDRIZZI *et al.*, 2003; BECKUNG; HAGBERG, 2002). Mais especificamente, as disfunções de membro superior apresentadas por esses indivíduos, como fraqueza muscular ou restrições de amplitude de movimento, são preditoras de seu desempenho em atividades relevantes para a independência na rotina diária (KLINGELS *et al.*, 2012) e estão fortemente correlacionadas à limitações funcionais (BRAENDVIK *et al.*, 2010). Possivelmente por essa razão, muitos pesquisadores tem se dedicado ao estudo de aspectos relacionados à função dos membros superiores de indivíduos com hemiplegia espástica.

Uma abordagem de investigação tradicionalmente empregada refere-se à comparação do desempenho e das estratégias de movimento exibidos por indivíduos com PC durante a realização de tarefas de membro superior àqueles exibidos por indivíduos com desenvolvimento normal (DN) (veja JASPERS *et al.*, 2009, para uma revisão). Essencialmente, essas comparações ressaltam diferenças entre esses grupos de indivíduos demonstrando que aqueles com hemiplegia espástica exibem pior desempenho e estratégias de movimento consideradas atípicas (JASPERS *et al.*, 2009). Essas estratégias são frequentemente assumidas como sendo um reflexo da lesão cerebral e um impedimento para o alcance de melhores resultados em termos de performance (BLEYENHEUFT *et al.*, 2007; DUQUE *et al.*, 2003). Consequentemente, elas têm sido denominadas estratégias de movimento patológicas (JASPERS *et al.*, 2011; JASPERS *et al.*, 2009) ou déficits motores (MACKEY; WALT; STOTT, 2006; BUTLER *et al.*, 2010) e apontadas como alvo de intervenção no tratamento de indivíduos com PC (JASPERS *et al.*, 2011). Entretanto, quando expostos a condições de tarefa mais desafiadoras, adultos típicos parecem empregar estratégias de movimento que se assemelham àquelas exibidas por indivíduos com hemiplegia espástica (VAN DER KAMP; STEENBERGEN, 1999; STEENBERGEN; MARTENIUK; KALBFLEISCH, 1995). Dessa forma, é possível que as estratégias de movimento exibidas por indivíduos

com PC refletem uma adaptação às condições sob as quais a tarefa é realizada, dado suas capacidades, e não uma manifestação primariamente patológica. Analogamente, tais estratégias podem consistir em uma maneira de se garantir o melhor desempenho possível dado as condições em que a tarefa é realizada, e não um impedimento para ótima performance. O presente estudo apresenta uma avaliação inicial destas suposições através da investigação do efeito das condições em que uma tarefa de membro superior é realizada no desempenho e nas estratégias de movimento de adolescentes com e sem hemiplegia espástica.

O contexto experimental em que adolescentes com hemiplegia espástica têm seu desempenho e estratégias de movimento comparados aos de adolescentes com DN abrange diversas tarefas de membro superior (e.g. alcance à frente, acima e ao lado; alcance seguido de apreensão de objetos; direcionamento da mão à boca, à cabeça, ao ombro contralateral; e realização de movimentos rápidos em direção à alvos dispostos no ambiente) (JASPERS *et al.*, 2011; BUTLER *et al.*, 2010; REID *et al.*, 2010; DOMELLÖF; RÖSBLAD; RÖNNQVIST, 2009; JASPERS *et al.*, 2009; RÖNNQVIST; RÖSBLAD, 2007; SMITS-ENGELSMAN; RAMECKERS; DUYSSENS, 2007; MACKEY; WALT; STOTT, 2006; STEENBERGEN; MEULENBROEK, 2006; VAN THIEL *et al.*, 2000). No entanto, na maioria dos estudos, os requisitos para a realização das tarefas (e.g. demanda de precisão e/ou de velocidade), assim como o suporte contextual oferecido aos participantes (e.g. adequação das ferramentas ou objetos usados para a realização da tarefa) não são manipulados (JASPERS *et al.*, 2011; BUTLER *et al.*, 2010; REID *et al.*, 2010; DOMELLÖF; RÖSBLAD; RÖNNQVIST, 2009; JASPERS *et al.*, 2009; RÖNNQVIST; RÖSBLAD, 2007; MACKEY; WALT; STOTT, 2006; para exceção veja SMITS-ENGELSMAN; RAMECKERS; DUYSSENS, 2007; STEENBERGEN; MEULENBROEK, 2006; VAN THIEL *et al.*, 2000). Dessa forma, como teoricamente o único parâmetro manipulado nesses estudos é a presença *versus* ausência de lesão cerebral nos indivíduos com e sem PC, respectivamente, as diferenças em desempenho e estratégia de movimento identificadas entre esses indivíduos tendem a ser atribuídas unicamente à existência daquela lesão.

Com relação ao desempenho, as diferenças entre adolescentes hemiplégicos e adolescentes com DN mais consistentemente reportadas referem-se ao (1) maior tempo de movimento para realização da tarefa, (2) reduzida retidão da trajetória de movimento e (3) valores inferiores de velocidade máxima exibidos pelos primeiros

(JASPERS *et al.*, 2011; DOMELLÖF; RÖSBLAD; RÖNNQVIST, 2009; JASPERS *et al.*, 2009; SMITS-ENGELSMAN; RAMECKERS; DUYSSENS, 2007; MACKEY; WALT; STOTT, 2006; STEENBERGEN; MEULENBROEK, 2006). No que diz respeito às estratégias de movimento, os estudos têm reportado que adolescentes hemiplégicos, comparados àqueles com DN, realizam as tarefas de membro superior usando menores magnitudes de extensão de cotovelo e maiores magnitudes de rotação e/ou em flexão anterior de tronco (JASPERS *et al.*, 2011; BUTLER *et al.*, 2010; REID *et al.*, 2010; JASPERS *et al.*, 2009; MACKEY; WALT; STOTT, 2006; STEENBERGEN; MEULENBROEK, 2006). Surpreendentemente, características similares podem ser observadas no comportamento de indivíduos típicos quando submetidos a condições experimentais desafiadoras. Van der Kamp e Steenbergen (1999) demonstraram que diante de aumentos na demanda de acurácia da tarefa (i.e. transportar uma colher contendo substância líquida em seu interior *versus* transportar essa mesma colher contendo uma substância sólida em seu interior), adultos típicos tiveram seu desempenho e estratégias de movimento modificados. Especificamente, esses indivíduos exibiram maior tempo de movimento para completar a tarefa, menor valor de velocidade máxima alcançada, menor envolvimento de articulações mais distais (i.e. cotovelo e punho) e maior envolvimento de movimentos de tronco e cabeça. Steenbergen e colaboradores (1995) também verificaram que adultos típicos, quando solicitados a alcançar e transportar um copo cheio em comparação a um copo vazio (i.e. situação de aumento da demanda da tarefa) usando seu membro superior não preferencial em comparação ao preferencial (i.e. situação de redução da habilidade/destreza do indivíduo), demonstraram maior envolvimento do tronco e menor envolvimento das articulações do membro superior (i.e. cotovelo e ombro) para realizar a tarefa. Essas evidências sugerem que o comportamento dos indivíduos reflete a relação entre suas capacidades e as demandas impostas pela tarefa. Dessa forma, é possível que as diferenças tipicamente evidenciadas entre adolescentes com e sem hemiplegia espástica, no que diz respeito ao desempenho em tarefas de membro superior e estratégias de movimento associadas, reflitam as discrepâncias na relação entre capacidade e demanda desses indivíduos, e não a presença ou ausência da paralisia cerebral em si. Além disso, como as estratégias de movimento implementadas pelos indivíduos podem estar ilustrando o melhor que eles podem fazer, dado suas capacidades e as demandas da tarefa, essas estratégias não

deveriam ser, a priori, assumidas como um fator limitante ao desempenho dos indivíduos. Ao contrário, é possível que essas estratégias de movimento estejam garantindo o melhor desempenho possível dado as condições em que a tarefa é realizada.

A investigação destas suposições requer que tanto o desempenho, quanto as estratégias de movimento dos indivíduos sejam analisadas (1) simultaneamente e (2) diante de variações nas condições de tarefa. Para variar essas condições, uma possibilidade é manipular as demandas impostas pela tarefa – por exemplo, através de mudanças nos requerimentos de precisão da mesma (i.e. *constraint* da tarefa) ou através de mudanças na adequação da ferramenta usada para ação (i.e. *constraint* contextual). Adicionalmente, pode-se solicitar aos indivíduos que realizem a tarefa ora com seu membro superior mais habilidoso (i.e. membro superior preferencial ou não afetado de indivíduos com PC), e ora com seu membro menos habilidoso (i.e. membro superior não preferencial ou afetado de indivíduos com PC), o que permitiria avaliar os efeitos de uma *constraint* relacionada ao indivíduo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Verificar os efeitos de *constraints* da tarefa, do contexto e do indivíduo no desempenho e nas estratégias de movimento de adolescentes com PC do tipo hemiplegia espástica e de adolescentes com DN durante uma tarefa de membro superior.

1.1.2 Objetivo Específico

Verificar se o nível de demanda de precisão da tarefa (i.e. acertar alvos de maior *versus* menor diâmetro), a adequação da ferramenta usada para

desempenhá-la (i.e. uso de hastes que produzem menores *versus* maiores torques de resistência à movimentação), e o nível de habilidade dos indivíduos no que se refere ao uso dos membros superiores (i.e. uso do membro superior preferencial ou não afetado *versus* uso do membro não preferencial ou afetado) modificam o desempenho (i.e. tempo médio de movimento necessário para cumprir a tarefa) e as estratégias de movimento (i.e. média de deslocamentos articulares) de adolescentes com hemiplegia espástica e com DN de maneira distinta durante uma tarefa de apontamento recíproco.

2 MATERIAIS E MÉTODO

2.1 Participantes

Participaram deste estudo nove adolescentes com diagnóstico médico de paralisia cerebral do tipo hemiplegia espástica (idade média: 12,8 anos; intervalo: 11-14 anos), que compuseram o grupo PC e 11 adolescentes com desenvolvimento normal (idade média: 12,8 anos; intervalo: 11-14 anos), que compuseram o grupo DN. O número de participantes foi baseado em um cálculo amostral considerando-se os seguintes parâmetros: tamanho de efeito de $d=0,25$ obtido no estudo de Melo (2011); poder estatístico de 0,80; $\alpha = 0,05$; número de grupos = 2 e um total de oito condições experimentais. De acordo com esse cálculo realizado com o *software* G*Power 3.1.5, uma amostra total de 16 indivíduos (oito em cada grupo) seria necessária para evidenciar os efeitos, caso existissem.

As características descritivas dos participantes estão apresentadas na Tabela 1. Como evidenciado nesta tabela, os grupos PC e DN eram equivalentes quanto as variáveis sexo, idade, função cognitiva e status socioeconômico das famílias.

TABELA 1
Características descritivas dos participantes

Característica		Grupo		Valor p^d
		PC ($n = 9$)	DN ($n = 11$)	
Sexo ^a	Masculino	4 (44%)	4 (36%)	0,714
Idade ^b	Anos	12,8 (0,6)	12,8 (0,8)	0,933
Função cognitiva ^b	Escala de conhecimento verbal do KBIT-2	96,44 (13,0) ^c	102,91 (13,5) ^c	0,294
	Status socioeconômico ^a	A1/A2 = 1 (11%) B1/B2 = 3 (33%) C1/C2 = 4 (45%) D/E = 1 (11%)	A1/A2 = 0 (0%) B1/B2 = 8 (73%) C1/C2 = 3 (27%) D/E = 0 (0%)	0,235
Membro superior preferencial ^a	Direito	3 (33%)	11 (100%)	
Nível do MACS ^a	I ou II	I = 3 (33%) II = 6 (67%)	N/A	

PC = paralisia cerebral; DN = desenvolvimento normal; KBIT-2 = *Kaufman Brief Intelligence Test*; CCEB = Critério de Classificação Econômica Brasil; MACS = *Manual Ability Classification System* (níveis I e II indicam limitações leves no uso das mãos em atividades de vida diária); N/A = não se aplica.

^a Números indicam frequência e (porcentagem)

^b Números indicam média e (desvio-padrão)

^c Escores dentro do intervalo característico de desempenho médio, que varia de 85 a 115 pontos (Kaufman & Kaufman, 2004)

^d Equivalência entre grupos foi verificada por teste-t Independente e teste qui-quadrado, para as variáveis numéricas e categóricas, respectivamente.

Todos os adolescentes incluídos no estudo eram capazes de deambular de forma independente e de compreender instruções verbais (habilidade confirmada pelos escores obtidos na escala de conhecimento verbal do teste *Kaufman Brief Intelligence Test* [KBIT-2]; KAUFMAN; KAUFMAN, 2004; ver Tabela 1). Além disso, os adolescentes do grupo PC apresentaram função manual classificada nos níveis I ou II do *Manual Ability Classification System* (MACS; ELIASSON *et al.*, 2006), o que indica limitações leves desses indivíduos em fazer uso das mãos nas atividades de vida diária. Esse critério visou assegurar a inclusão de adolescentes com PC que fossem ser capazes de segurar e manusear a ferramenta necessária para o cumprimento da tarefa experimental.

Os adolescentes hemiplégicos foram recrutados em clínicas e centros de reabilitação, enquanto que os adolescentes com desenvolvimento normal foram recrutados a partir da indicação de amigos e conhecidos dos pesquisadores envolvidos. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) (ANEXO A). Todos os participantes, assim como seus pais ou responsáveis, foram esclarecidos acerca dos procedimentos do estudo e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (APÊNDICE A), concordando com a participação voluntária na pesquisa.

2.2 Instrumentação e Procedimentos

Os participantes foram solicitados a realizar uma tarefa de apontamento recíproco – frequentemente referidas na literatura como tarefa de Fitts – que

consiste em tocar contínua e reciprocamente alvos dispostos em pares com máxima precisão e velocidade (FITTS, 1954). Essa tarefa pode ser caracterizada por um índice de dificuldade (ID) que é diretamente proporcional a distância (D) entre os alvos e inversamente proporcional a largura (L) dos mesmos $[ID = \log_2 (2D/L)]$ (FITTS, 1954). Durante a realização da tarefa, os participantes mantiveram-se na posição ortostática, em frente a uma mesa de altura regulável sobre a qual o par de alvos era posicionado. Para tocar os alvos, os participantes utilizaram uma haste de madeira cilíndrica e homogênea com comprimento de 50 centímetros (cm) e massa de 38,98 gramas (g). A altura da mesa era ajustada de modo a manter seu topo alinhado ao trocânter maior dos participantes (Figura 1).

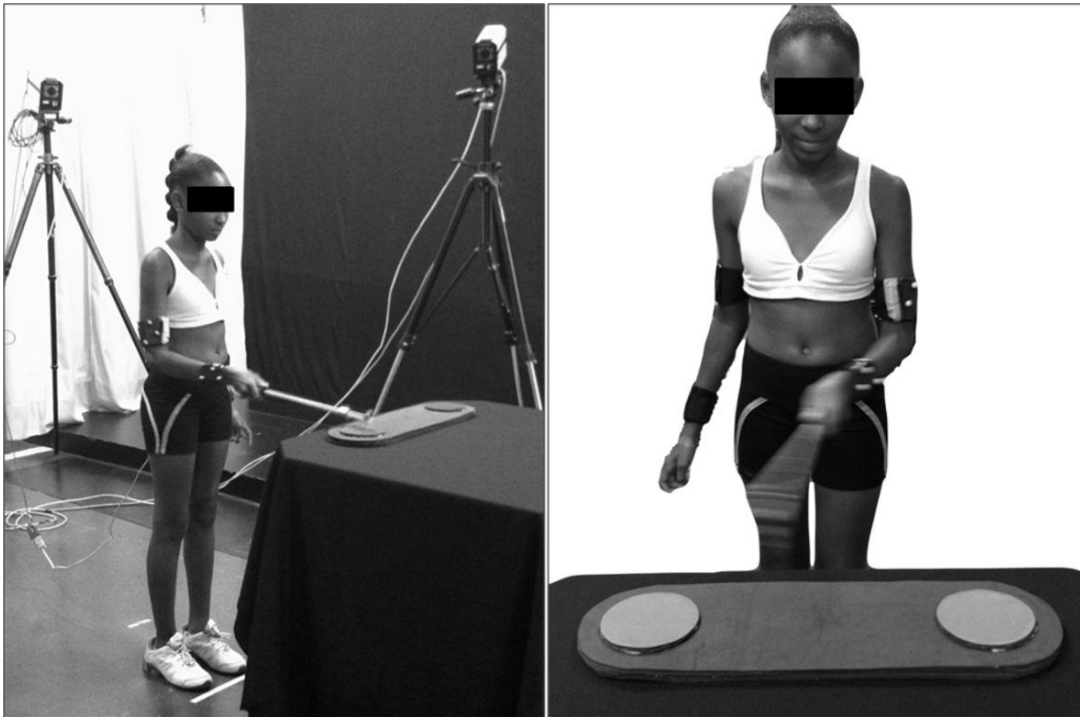


FIGURA 1: Participante do estudo desempenhando a tarefa na posição ortostática e utilizando a haste de madeira para tocar os alvos.

Para manipular a demanda de precisão da tarefa (i.e. *constraint* da tarefa) dois pares de alvos de diferentes larguras (10 e 6 cm de raio) foram utilizados. A distância entre os alvos de cada par foi mantida fixa em 35 cm. Dessa forma, dois índices de dificuldade foram estabelecidos: ID = 3 para a condição de tarefa mais

fácil e $ID = 4$ para a condição de tarefa mais difícil (IDs arredondados para o número inteiro mais próximo).

O suporte contextual (i.e. *constraint* contextual) oferecido aos participantes também foi manipulado através de mudanças na adequação da haste usada para o desempenho de tarefas de precisão. Para isso, um cilindro de aço de 50 g foi anexado à haste e deslocado ora em direção a sua extremidade distal, ora em direção a sua extremidade proximal, no intuito de modificar uma das propriedades mecânicas dessa ferramenta: sua distribuição de massa. Mais especificamente, duas condições de adequação da haste foram criadas: (1) alta adequação (situação na qual o cilindro era fixado em uma posição próxima do ponto onde o participante segurava a haste, i.e. a 10 cm da extremidade proximal da haste) e (2) baixa adequação (situação na qual o cilindro era fixado em uma posição distante do ponto onde o participante segurava a haste, i.e. a 40 cm da extremidade proximal da haste). Essencialmente, o que diferenciava as condições de alta e baixa adequação da haste eram as magnitudes dos torques de resistência à movimentação (ou resistência à mudança na direção da movimentação) produzidas pela mesma. Na situação de alta adequação, menores magnitudes de torque de resistência eram produzidas, uma vez que o centro de massa da haste estava mais próximo da mão dos participantes, facilitando o controle da posição dessa ferramenta no espaço. O oposto ocorreu para a condição de baixa adequação, situação em que maiores magnitudes de torque de resistência à movimentação eram produzidos pela haste, dificultando o controle de sua posição.

Uma última manipulação proposta no presente experimento foi relacionada ao nível de habilidade motora dos participantes no que diz respeito ao uso dos membros superiores (i.e. *constraint* do indivíduo). Para isso, os adolescentes foram solicitados a desempenhar a tarefa em todas as condições experimentais usando ora o membro superior com o qual possuíam maior habilidade (i.e. membro superior preferencial ou não afetado no caso do grupo PC), e ora o membro superior com o qual possuíam menor habilidade (i.e. membro superior não preferencial ou afetado no caso do grupo PC).

Juntas, as manipulações (1) na demanda de precisão da tarefa ($ID=3$ e $ID=4$), (2) no suporte contextual oferecido (adequação da haste = alta e baixa) e (3) no nível de habilidade motora dos membros superiores dos participantes (membro preferencial e não preferencial) resultaram em um total de oito condições

experimentais, sendo cada uma delas realizada duas vezes. A ordem de apresentação das condições foi aleatorizada em blocos de ID da tarefa e membro superior de início. Mais especificamente, anteriormente ao início da coleta de dados, os participantes realizavam dois sorteios: o primeiro para definir o par de alvos com que começaria a tarefa e o segundo para definir o membro superior (preferencial ou não) de início. Dentro de cada bloco de ID da tarefa e membro superior, as condições de haste (alta e baixa adequação) eram apresentadas de forma aleatorizada. Para que pudessemos considerar a coleta de cada condição experimental como válida, era necessário que os voluntários acertassem os alvos 26 vezes consecutivamente (13 toques em cada alvo do par). Caso eles cometessem algum erro, a tentativa era interrompida e descartada e os participantes eram solicitados a repeti-la. Os voluntários treinavam a tarefa em cada condição experimental antes do início do registro dos dados. Esse treino era mantido até que o participante pudesse acertar os alvos de forma consistente por no mínimo 10 vezes. Previamente ao início de cada tentativa, os adolescentes recebiam estímulo verbal no sentido de incentivá-los a alcançarem seu melhor resultado em termos de velocidade e precisão. Períodos de descanso de aproximadamente 60 segundos eram fornecidos aos voluntários após o cumprimento de cada tentativa válida. Além disso, caso sentissem necessidade, os participantes poderiam solicitar períodos extra de descanso.

Sete câmeras do sistema tridimensional de análise de movimento, Qualisys Pró-Reflex[®] (Qualisys Inc, Gothenburg, Suécia), foram posicionadas ao redor da área de coleta (Figura 2) e registraram, a uma frequência de 200 Hz, a trajetória de movimento de marcadores passivos reflexivos posicionados: (1) na extremidade distal da haste usada para tocar os alvos e (2) nos braços, antebraços, tronco e pelve dos participantes durante a execução da tarefa de apontamento recíproco.



FIGURA 2: Posicionamento das câmeras do sistema tridimensional de análise de movimento (Qualisys Pro-Reflex[®]) ao redor da área de coleta.

A definição dos limites proximais e distais de cada segmento corporal foi obtida pelo posicionamento de marcadores de referência em proeminências anatômicas específicas, como ilustrado na Figura 3 e descrito a seguir. O braço foi definido proximalmente por um marcador posicionado no acrômio e distalmente por marcadores posicionados nos epicôndilos medial e lateral do úmero. O antebraço, por sua vez, foi definido proximalmente por marcadores posicionados nos epicôndilos medial e lateral do úmero e distalmente por marcadores posicionados nos processos estiloides da ulna e do rádio. O tronco foi definido, proximalmente, por marcadores posicionados no ponto mais elevado das cristas ilíacas direita e esquerda e, distalmente, por marcadores nos acrômios direito e esquerdo. Por fim, a pelve foi definida proximalmente por marcadores posicionados no ponto mais elevado das cristas ilíacas direita e esquerda e, distalmente, por marcadores posicionados nos trocânteres maiores direito e esquerdo do fêmur dos participantes. Adicionalmente aos marcadores de referência, clusters de rastreamento, compostos de três marcadores reflexivos afixados de forma não colinear sobre uma base rígida, foram posicionados em cada segmento corporal a fim de possibilitar ao sistema

capturar a trajetória de movimento dos mesmos (Figura 3). Todos os marcadores reflexivos, assim como os clusters de rastreamento, foram posicionados no corpo dos participantes sempre pelo mesmo pesquisador.

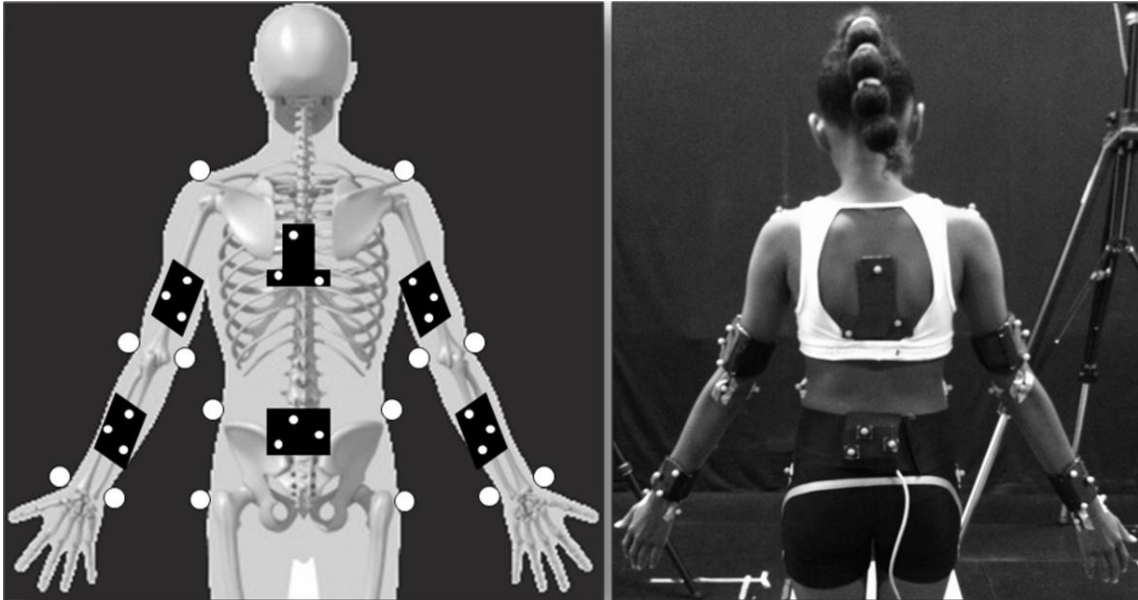


FIGURA 3: Conjunto de marcadores de referência (círculos brancos de maior diâmetro) usados para definição dos braços, antebraços, tronco e pelve dos participantes; e clusters (conjuntos de três marcadores fixados sobre uma base rígida preta) usados para rastreamento do movimento dos segmentos corporais. Todos os marcadores eram esféricos e tinham 10 milímetros de diâmetro. O centro da articulação do ombro foi estimado a partir dos marcadores posicionados no acrômio (i.e. deslocamento inferior equivalente à 17% da distância entre os acrômios direito e esquerdo; RAB; PETUSKEY; BAGLEY, 2002); enquanto que o centro da articulação do cotovelo foi estabelecido como sendo o ponto médio entre os marcadores posicionados nos epicôndilos medial e lateral do úmero (REID *et al.*, 2010). Esta configuração de marcadores foi baseada nas diretrizes fornecidas pela C-Motion Research Biomechanics®.

Anteriormente ao início da coleta de dados, o sistema Qualisys® era calibrado a fim de se determinar as coordenadas de referência global. Esse procedimento requeria a utilização de uma unidade de calibração composta por (1) uma estrutura de referência metálica em formato de “L” contendo quatro marcadores reflexivos em sua superfície e (2) uma batuta de calibração em formato de “T” contendo dois marcadores reflexivos em um de seus eixos. Durante o procedimento de calibração em si, a estrutura de referência era posicionada sobre a mesa onde a tarefa

experimental seria posteriormente executada, com seu eixo longo (representando o eixo “X”) na direção ântero-posterior e seu eixo curto (representando o eixo “Y”) na direção látero-lateral. Enquanto isso, a batuta de calibração era movida nos três eixos de movimento fazendo uma varredura do volume de coleta por 20 segundos. Uma vez calibrado, o sistema de análise de movimento era usado para realizar uma coleta estática dos participantes. Durante essa coleta, os adolescentes eram solicitados a manterem-se na posição anatômica durante três segundos enquanto as câmeras capturavam a posição estática dos marcadores posicionados no corpo dos mesmos. A coleta estática era usada, posteriormente, para a criação do modelo biomecânico que seria associado às coletas dinâmicas utilizando-se o *software* Visual 3D[®]. Além do sistema de análise de movimento, uma câmera digital também registrou o desempenho dos participantes em todas as condições experimentais para fins de verificações posteriores, caso necessário.

2.3 Redução dos dados

Os registros obtidos com o sistema tridimensional de análise de movimento forneceram séries temporais nos três eixos (“X”, “Y” e “Z”) dos deslocamentos dos marcadores posicionados (1) na haste e (2) nos segmentos corporais dos participantes. Inicialmente, essas séries temporais foram filtradas com um filtro *passa baixa* (Butterworth) com frequência de corte de 6 Hz. A partir das séries temporais filtradas, foram computadas as seguintes variáveis: (1) tempo médio de movimento (TM) usado para levar a haste de um alvo a outro (i.e. tempo médio para completar meio-ciclo de movimento) e (2) *Root Mean Square* (RMS) dos deslocamentos angulares dos braços, antebraços, tronco e pelve dos participantes durante a realização da tarefa de apontamento recíproco.

A variável TM foi usada como medida de desempenho dos participantes. Essa variável foi extraída da série temporal no eixo “Y” (látero-lateral) do deslocamento do marcador posicionado na extremidade distal da haste, para cada participante e em cada condição experimental. Usando o *software* MATLAB (versão R2010a, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, Estados Unidos), selecionamos os 20 meio-ciclos de movimento a partir dos quais a média de tempo seria computada.

Nesses 20 meio-ciclos não estavam incluídos os três primeiros e nem os dois últimos. Esse procedimento foi adotado a fim de se minimizar a probabilidade de incluirmos os períodos de transição (aceleração e desaceleração) no computo da média do tempo de movimento.

Os RMS dos deslocamentos angulares de braço, antebraço, tronco e pelve foram usados para descrever a estratégia de movimento dos participantes durante a execução da tarefa, em cada condição experimental. O RMS é uma medida da magnitude global de uma “quantidade” que varia ao longo do tempo (FREEDMAN; PISANI; PURVES, 2007). Neste estudo, essa “quantidade” variável referiu-se ao movimento (em graus) ocorrendo em cada um dos segmentos corporais selecionados, de forma que os valores de RMS obtidos representavam a magnitude global dessa movimentação, sem detalhamentos quanto ao seu sentido específico (e.g. se para a direita ou esquerda, se flexão ou extensão, etc.) em cada momento do ciclo. Dessa forma, a variável RMS foi útil para informar acerca das contribuições do movimento de cada um dos segmentos corporais para a realização da tarefa, permitindo a identificação de diferenças entre adolescentes hemiplégicos e adolescentes com desenvolvimento normal no que diz respeito a suas estratégias de movimento em cada condição experimental. A escolha da variável RMS em detrimento de uma média simples deveu-se ao fato de a primeira consistir em uma medida mais adequada quando a “quantidade” em questão alterna entre valores positivos e negativos (FREEDMAN; PISANI; PURVES, 2007), característica típica das séries temporais deste estudo, dada a natureza cíclica da tarefa de apontamento recíproco. Uma média simples poderia anular esses valores fornecendo uma ideia errônea da magnitude de movimentação de determinado segmento. Da mesma forma, optamos por usar o RMS ao invés de uma medida simples de amplitude de movimento, por acreditarmos que ele é mais informativo quando se quer obter informação de quanto o indivíduo movimentou um dado segmento ao longo de toda a *trial*. Em outras palavras, se a magnitude de movimentação de um dado segmento corporal foi mínima durante a maior parte da *trial* e, por algum motivo, o indivíduo realiza um único movimento amplo desse segmento, uma medida de amplitude teria um valor alto, sugerindo uma grande contribuição da movimentação daquele segmento para o cumprimento da tarefa. O RMS, ao contrário, levaria em conta a grande parte da *trial* em que a contribuição

daquele segmento foi mínima, fornecendo uma medida mais condizente com o real envolvimento do segmento na realização da tarefa.

Especificamente, os valores de RMS foram computados a partir das seguintes séries temporais filtradas e interpoladas: (1) deslocamento do braço em relação ao tronco no plano frontal (de agora em diante referido como adução/abdução de ombro), (2) deslocamento do antebraço em relação ao braço no plano sagital (de agora em diante referido como flexão/extensão de cotovelo), (3) deslocamento do tronco em relação ao laboratório no plano transverso (de agora em diante referido como rotação de tronco) e, por fim, (4) deslocamento da pelve em relação ao laboratório no plano transverso (de agora em diante referido como rotação de pelve) (Figura 4). Dessa forma, a posição do braço e antebraço foi computada considerando-se um sistema de coordenadas local, enquanto que a posição de tronco e pelve foi computada considerando-se o sistema de coordenadas global do laboratório (Figura 4).

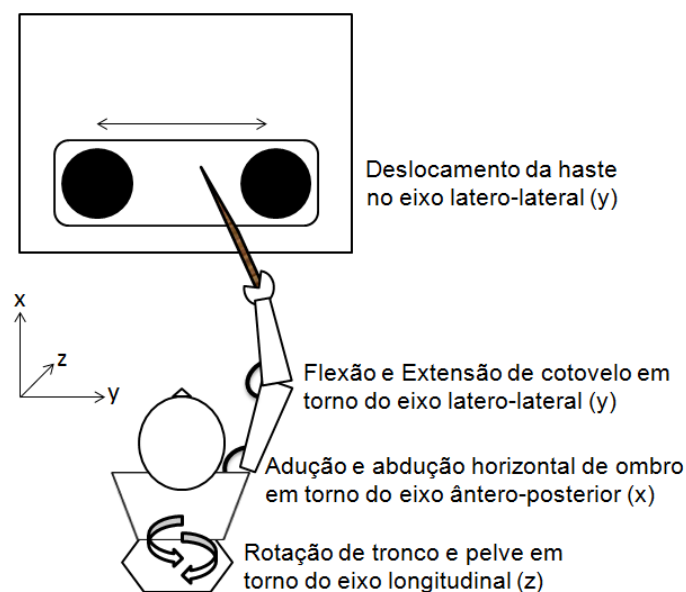


FIGURA 4: Visão superior do *set-up* de coleta demonstrando as variáveis cinemáticas usadas para análise dos dados.

As direções dos movimentos em cada articulação ou segmento foram selecionadas de acordo com seu potencial para suportar o desempenho da tarefa (ou seja, seu potencial para suportar o direcionamento da haste de um alvo a outro).

A criação do modelo biomecânico e sua associação às coletas dinâmicas, assim como a definição do sistema de coordenada local e a obtenção das séries temporais descritas acima foram procedimentos realizados no *software* Visual 3D[®]. Essas séries temporais foram exportadas do *software* Visual 3D[®] em formato compatível para leitura no *software* MATLAB, onde o cálculo do RMS foi realizado.

Para o cálculo do RMS, as séries temporais dos quatro segmentos corporais foram cortadas nos mesmos *frames* inicial e final em que a série temporal do marcador da haste (usada para o computo do MT) foi cortada. Dessa forma, selecionamos para a análise da estratégia de movimento os mesmos 20 meio-ciclos usados para análise do desempenho dos participantes. O cálculo do RMS foi composto de quatro passos: 1) os valores das séries temporais de deslocamento de cada articulação ou segmento corporal foram elevados ao quadrado, tornando todos os valores positivos; 2) foi realizada uma média dos valores resultantes do passo 1 para cada série temporal; 3) foi tirada a raiz quadrada dos valores resultantes do passo 2 para que os mesmos pudessem voltar a sua escala original. Duas voluntárias do grupo PC não tiveram seus dados cinemáticos incluídos na análise da estratégia de movimento devido à perda de rastreamento do movimento de alguns marcadores reflexivos por mais de 15 *frames* consecutivos, inviabilizando a interpolação dos dados.

2.4 Análise Estatística

Análise de variância (ANOVA) mista testou os efeitos do fator independente grupo (PC e DN), e dos fatores de medida repetida ID da tarefa (ID=3 e ID=4), adequação da haste (alta e baixa) e membro superior de realização da tarefa (preferencial e não preferencial), assim como os efeitos das interações, em cada variável dependente do estudo (TM e RMS dos deslocamentos angulares de ombro, cotovelo, tronco e pelve). Nos casos de interações significativas, análises de contraste foram realizadas para identificar as diferenças bivariadas. As análises foram realizadas utilizando o *software* *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS) (version 15.0, SPSS Inc., Chicago, IL, Estados Unidos). O nível de significância considerado foi de $\alpha=0.05$.

3 ARTIGO

A ser submetido para o periódico Experimental Brain Research:

HEMIPLEGIC AND TYPICALLY DEVELOPING TEENAGERS CAN BEHAVE SIMILARLY IN FACE OF INCREASES IN TASK DEMANDS

Priscilla Rezende Pereira Figueiredo⁽¹⁾, Paula Lanna Silva⁽²⁾, Bruna Silva Avelar⁽³⁾,
Reinoud J Bootsma⁽⁴⁾, Marisa Cotta Mancini⁽⁵⁾

(1) Advanced Master Student, Graduate Program in Rehabilitation Sciences, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte MG, Brazil.

(2) Doctor of Ecological Psychology, Department of Physical Therapy, Graduate Program in Rehabilitation Sciences, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte MG, Brazil.

(3) Master of Rehabilitation Sciences, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte MG, Brazil.

(4) Institute for Movement Sciences, Aix-Marseille University, Marseille, France.

(5) Doctor of Science in Therapeutic Studies, Department of Occupational Therapy, Graduate Program in Rehabilitation Sciences, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte MG, Brazil.

Corresponding Author: Marisa Cotta Mancini

Graduate Program in Rehabilitation Sciences

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional

Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Antonio Carlos 6627, Campus Pampulha

Belo Horizonte, MG, Brazil 31270-901

E-mail: mcmancini@ufmg.br; marisacmancini@gmail.com

Phone: 55 31 3409-4799. Fax: 55 31 3409-7434

ABSTRACT

When teenagers with hemiplegic cerebral palsy (CP) are compared to typically developing (TD) teenagers during the execution of upper limb tasks, worse performance and atypical movement strategies presented by the former are usually attributed to the presence or severity of their neural damage. We aimed to verify the influence of other factors, such as task accuracy demands, contextual support and individuals' skills, that could be underlying the differences between teenagers with and without spastic hemiplegia during a reciprocal aiming task. Twenty participants (nine with hemiplegic CP and 11 with typical development) used a pointer to continuously hit two targets with maximum speed and accuracy. Task conditions were manipulated by changing the targets' size; by modifying the pointer's adequacy for precision tasks; and by switching between individual's preferred/non-affected and non-preferred/affected upper limbs. The results point to a strong influence of the experimental manipulations on the behavior of both teenagers with and without CP. Even though hemiplegic teenagers exhibited worse performance compared to TD teenagers, the magnitude of the differences was more pronounced when the capability/demand relation was more dissimilar between those individuals. Regarding movement strategies, teenagers with hemiplegia, compared to those with typical development, presented lower magnitude of elbow movements and increased magnitude of shoulder movements when performing the task with their less skilled upper limb. However, in spite of those differences, hemiplegic and TD teenagers showed comparable increases in trunk involvement when facing more challenging task conditions, which highlights similarities in the behavior of individuals with and without CP in face of increases in task demands. We propose reasons as to why such strategies were implemented and conclude that they reflect a necessary adaptation to the conditions under which the task is performed, given the individuals' capabilities, and not a primarily pathological manifestation.

Keywords: Spastic hemiplegia. Reciprocal aiming task. Task performance. Movement strategies. Task demands. Capability/demand relation.

Introduction

One of the most disabling problems faced by individuals with hemiplegic cerebral palsy (CP) refers to their daily use of upper limbs (Klingels et al. 2012; Braendvik et al. 2010; Van Zelst et al. 2006; Fedrizzi et al. 2003; Beckung and Hagber 2002). Experimentally, this functional limitation has been expressed by a generally slower and less precise performance in upper limb tasks and by differences in the movement strategies used (see Jaspers et al. 2009, for a review). The atypical movement strategies of individuals with CP are frequently assumed to be a reflection of the neural damage, and, thus, an impediment to their optimal performance (Bleyenheuft et al. 2007; Duque et al. 2003). However, under more stringent task conditions, typical individuals seem to employ movement strategies similar to those observed in individuals with CP (Van der Kamp and Steenbergen 1999; Steenbergen et al. 1995). It is possible, therefore, that the movement strategies used by hemiplegic individuals reflect a necessary adaptation to the conditions under which the task is performed, given their capabilities, and not a primarily pathological manifestation. Relatedly, such strategies might be a means of guaranteeing the best performance possible under a particular set of conditions rather than an impediment to performance. The present study provides an initial assessment of this reasoning through a systematic evaluation of the effect of task conditions on the reported differences between teenagers with and without hemiplegic CP in task performance and related movement strategies.

The experimental context in which the comparisons between teenagers with and without hemiplegic CP have been carried out involves a variety of upper limb tasks (e.g. reaching forward, upwards and sideways; reaching to grasp different objects; directing the hand to the mouth, to the head or to the contralateral shoulder; and performing fast aiming movements towards targets positioned at different locations) (Jaspers et al. 2011 and 2009; Butler et al. 2010; Reid et al. 2010; Domellöf et al. 2009; Rönnqvist and Rösblad 2007; Smits-Engelsman et al. 2007; Mackey et al. 2006; Steenberg and Meulenbroek 2006; Van Thiel et al. 2000). However, in most studies, neither the specific requirements for task performance (e.g. precision demand, speed) nor the contextual support offered to participants (e.g. adequacy of tools used for task performance) were manipulated (Jaspers et al. 2011 and 2009; Butler et al. 2010; Reid et al. 2010; Domellöf et al. 2009; Rönnqvist

and Rösblad 2007; Mackey et al. 2006; for exception see Smits-Engelsman et al. 2007; Steenberg and Meulenbroek 2006; and Van Thiel et al. 2000). As a result, documented differences in performance and in movement strategies between individuals with and without CP tend to be attributed solely to the existence of a cerebral damage in the former.

The most consistent differences in performance between hemiplegic and typically developing teenagers include longer movement durations, reduced trajectory straightness and lower peak velocities exhibited by the former (Jaspers et al. 2011 and 2009; Domellöf et al. 2009; Smits-Engelsman et al. 2007; Mackey et al. 2006; Steenberg and Meulenbroek, 2006). Regarding movement strategies, studies have reported that hemiplegic teenagers, compared to their typically developing peers, showed diminished magnitude of elbow extension and increased magnitude of trunk flexion and/or rotation during upper limb task performance (Jaspers et al. 2011 and 2009; Butler et al. 2010; Reid et al. 2010; Mackey et al. 2006; Steenberg and Meulenbroek, 2006). Strikingly, similar characteristics are noticeable in the behavior of typical individuals when submitted to challenging experimental conditions. Van der Kamp and Steenbergen (1999) demonstrated that under higher accuracy demands (i.e. transporting a spoon filled with liquid versus with solid substances), typical adults had both their performance and movement strategies affected, showing longer movement durations, decreased values of peak velocity, decreased involvement of distal upper limb joints (i.e. elbow and wrist) and increased involvement of trunk and head movements. Steenbergen et al. (1995) also verified that when typical adults were required to grasp and transport a full instead of an empty cup (i.e. situation that imposes higher levels of accuracy requirements) and performed this task with their non-preferred upper limb in comparison with their preferred one (i.e. situation of decreased individual's dexterity), their trunk was shown to contribute significantly more to the accomplishment of the task while the contribution of their elbow and shoulder were diminished. The above-mentioned evidence suggests that the behavior of individuals reflect the relation between their capabilities and the task demands under which the task is performed. Therefore, the differences in performance and movement strategies typically highlighted in the comparisons between hemiplegic and typically developing teenagers are likely to reflect their dissimilar capability/demand relation, and not the presence or absence of a cerebral damage per se. Also, because the movement strategies implemented by individuals

might express the best they can do, given their capabilities and the task demands, such strategies should not be a priori assumed to be hampering individuals' performance. On the contrary, they might be assuring the best performance possible under a particular set of conditions.

The investigation of these conjectures requires both the performance and movement strategies (measured via joint kinematics) of individuals to be analyzed (1) simultaneously and (2) under variations in task conditions. One possibility is to vary task demands – for example, by changing the accuracy requirements of the task or by changing the appropriateness of tool used for its performance. In addition, one can vary individual's capabilities by having subjects alternate between their more skilled *versus* less skilled upper limb (i.e. preferred *versus* non-preferred upper limb) to perform the task.

The present study was designed to verify the effects of task demands and individuals' capabilities on the performance and movement strategies of hemiplegic and typically developing teenagers in a reciprocal aiming task. We sought to verify whether the conditions under which the task is performed would modify the differences between teenagers with and without CP. Exploring the results also allowed us to attain deeper knowledge into the nature of the relation between performance and movement strategy and associated implications for rehabilitation of individuals with CP.

Method

Participants

Nine teenagers diagnosed with hemiplegic cerebral palsy (mean age: 12.8y; range: 11–14y) composed the CP group and 11 typically developing teenagers (mean age: 12.8y; range: 11–14y) composed the TD group. Descriptive characteristics of the participants are summarized in Table 1. The groups were equivalent in sex, age, cognitive function and families' socio-economic status (Table 1).

Table 1 Descriptive characteristics of the participants

Characteristic		Group		<i>p</i> -value ^d
		CP (<i>n</i> = 9)	TD (<i>n</i> = 11)	
Sex ^a	Male	4 (44%)	4 (36%)	0.714
Age ^b	Years	12.8 (0.6)	12.8 (0.8)	0.933
Cognitive function ^b	Verbal Knowledge scale of KBIT-2	96.44 (13.0) ^c	102.91 (13.5) ^c	0.294
Socio-economic status ^a	CCEB categories	A1/A2 = 1 (11%) B1/B2 = 3 (33%) C1/C2 = 4 (45%) D/E = 1 (11%)	A1/A2 = 0 (0%) B1/B2 = 8 (73%) C1/C2 = 3 (27%) D/E = 0 (0%)	0.235
Preferred (non-affected) limb ^a	Right	3 (33%)	11 (100%)	
MACS level ^a	I or II	I = 3 (33%) II = 6 (67%)	N/A	

CP, cerebral palsy group; TD, typically developing group; KBIT-2, Kaufman Brief Intelligence Test; CCEB, Brazil's socio-economic classification criteria; MACS, Manual Ability Classification System (where levels I and II indicate mild functional limitations in using the upper limbs in daily activities); N/A, not applicable

^a Numbers indicate frequency and (percent)

^b Numbers indicate mean and (standard deviation)

^c Scores within the "average" descriptive category, which ranges from 85 to 115 (Kaufman and Kaufman 2004)

^d Equivalence between groups was verified by Independent-sample T-test and Qui-square test, for numerical and categorical variables, respectively

All teenagers were independent community walkers and able to understand and co-operate with verbal instructions (as reinforced by their scores in the verbal scale of Kaufman Brief Intelligence Test [KBIT-2]; Kaufman and Kaufman 2004; see Table 1). To be included in the CP group, teenagers' hand function had to be classified as levels I or II of the Manual Ability Classification System (MACS; Eliasson et al. 2006), which indicates they only had mild limitations in using their hands in daily life activities. Hemiplegic teenagers were recruited from rehabilitation centers and clinics, while typically developing teenagers were recruited from the local community. The study was approved by the university's ethics review committee and informed consent was obtained from all participants and their caregivers prior to their inclusion in the study.

Task and Procedure

Participants were asked to perform a reciprocal aiming task – known as Fitts' task – which consists in continuously hitting two targets with maximum speed and accuracy (Fitts 1954). This task can be characterized by an index of difficulty (ID),

which is directly proportional to the distance (D) between the targets and inversely proportional to target width (W) [$ID = \log_2(2 \cdot D/W)$]. Participants used a 50-centimeter wooden rod (pointer) to aim at the targets, which were positioned on a table whose height was adjusted so as to maintain its top aligned to teenagers' greater trochanter. All participants stood facing the targets on the table to perform the task (Fig. 1).

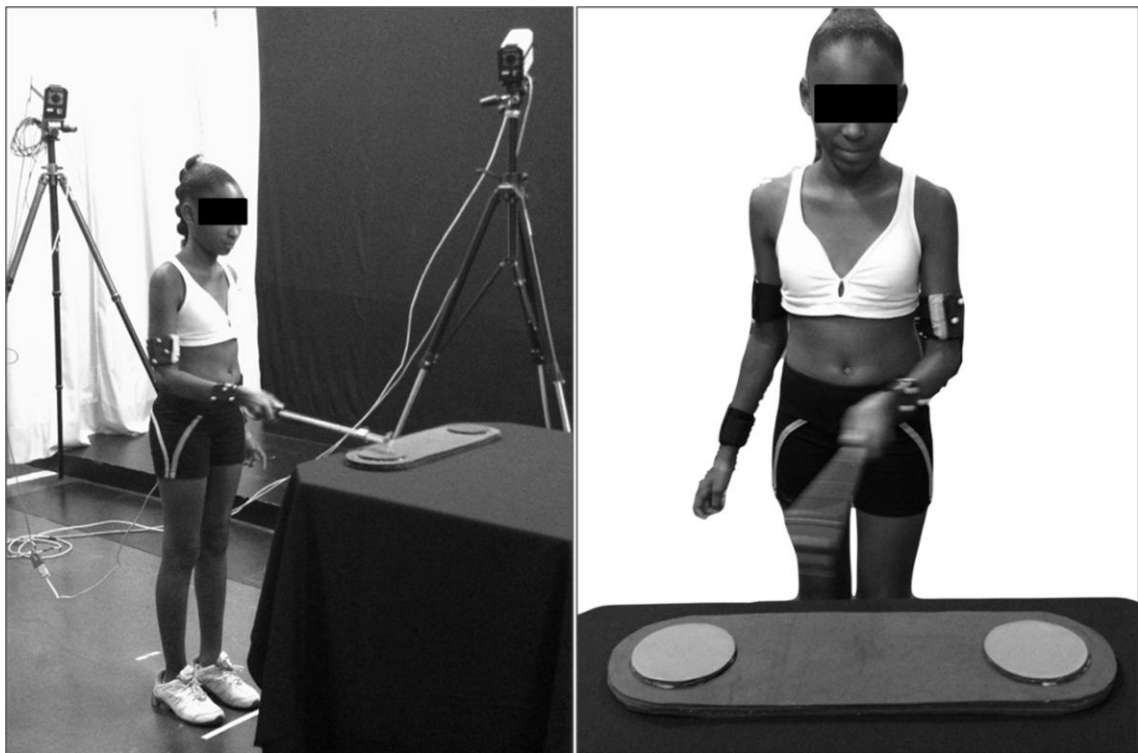


Fig. 1 A study participant performing the task in the standing position and using the pointer to aim at the targets

In order to manipulate the accuracy demands of the task, two different target widths were used [10 and 6 centimeters (cm) of radius]. The inter-target distance was kept constant at 35 cm, which led to two Indices of Difficulty: $ID = 3$ for the easiest and $ID = 4$ for the most difficult task condition (IDs were rounded to the nearest whole number for simplicity). The contextual support was also manipulated by changing the adequacy of the pointer for the performance of precision tasks. In this manipulation, a 50-gram cylindrical mass was attached to the pointer and scrolled back and forth through its extension in order to modify one of its mechanical properties: the mass distribution. By doing so, two conditions of pointer adequacy were created: (1) higher

adequacy (cylindrical mass fixed at a position closer to the point of grasp, i.e., 10 cm far from the pointer's proximal extremity) and (2) lower adequacy (cylindrical mass fixed at a position far from the point of grasp, i.e., 40 cm far from the pointer's proximal extremity). In the latter condition, the resistance torques produced by the pointer were greater (center of mass farther from the participants' hand), increasing the difficulty for controlling its tip. The opposite occurred for the higher pointer adequacy condition, in which lower magnitudes of resistance torques were produced. Finally, all task conditions were performed with participants' preferred (or non-affected) and non-preferred (or affected) upper limbs. The manipulations of task ID (ID=3 and ID=4), pointer adequacy (higher and lower) and upper limb used (preferred and non-preferred) resulted in a total of eight experimental conditions, each being performed twice by each participant. The order of presentation was randomized in blocks of task ID and upper limb. Each valid trial consisted of 26 successful consecutive hits to the targets. If participants failed to accurately hit the targets, they were asked to repeat that trial and the previous one was discarded. The participants were allowed to practice every experimental condition until they could hit the targets consistently at least 10 times in a row. Also, before each recorded trial, they were given verbal encouragement to achieve maximal results regarding speed and accuracy. Finally, a rest period of approximately 60 seconds (s) was given to the teenagers after they successfully completed each trial.

Reciprocal aiming movements were recorded using seven ProReflex cameras from Qualisys® motion capture system (Qualisys Inc, Gothenburg, Sweden), with a sampling frequency of 200 Hz. These cameras monitored the position of infrared reflective markers placed (1) on the distal extremity of the pointer used to aim at the targets, and (2) on participants' right and left upper arms, right and left forearms, trunk and pelvis. Each body segment was assumed to be a rigid body defined by markers placed on anatomical landmarks that generally represent their proximal and distal endpoints. Additionally, a set of three non-collinear reflective markers fixed upon a rigid basis (cluster) was attached along each body segment in order to enable movement tracking. The marker set, including the ones used for the definition of the segments, as well as the ones used for movement tracking are shown in Fig. 2. Prior to the acquisition of motion data, a static trial was recorded. During this trial, participants were required to maintain the anatomical position for three seconds, while the cameras captured the static position of the markers. This trial was later

used for creating the model that would be associated with the movement trials. The performance of participants in all trials was also registered by a digital video camera, for verification purposes afterwards.

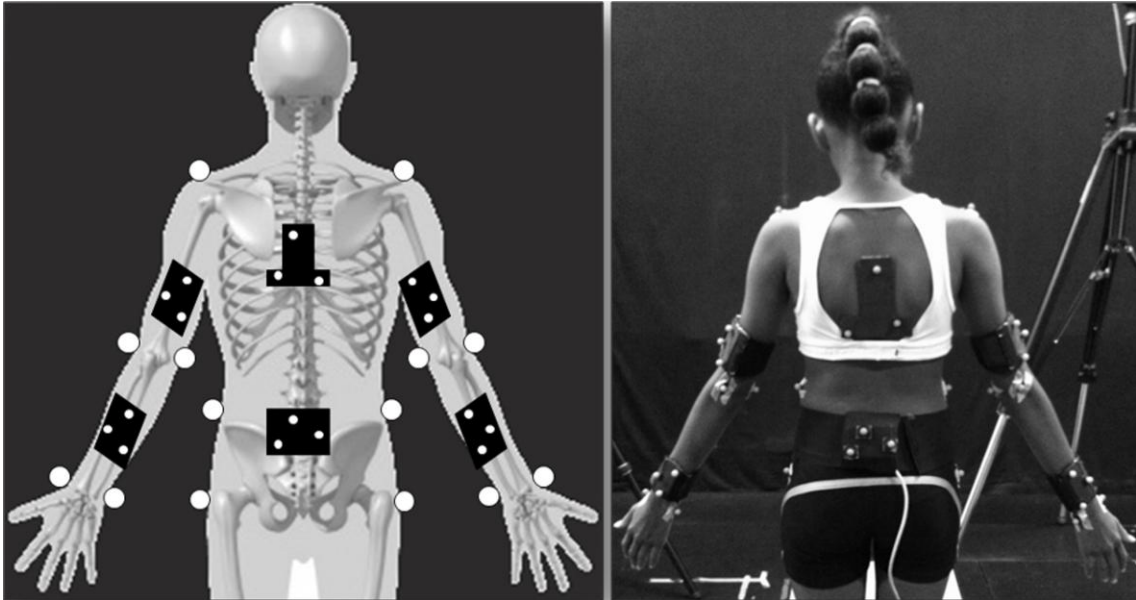


Fig. 2 Marker set used for the definition of participant's right and left upper arms, right and left forearms, trunk and pelvis (larger white circles); and clusters (sets of three markers fixed upon black rigid surfaces) used for movement tracking. All markers were spherical in shape, 10 millimeters-sized and added with a small flat base for better attachment to the skin. The shoulder joint center landmark was created as an inferior offset from the acromion marker (Rab et al. 2002) and the elbow joint center landmark was created as the midpoint between the medial and lateral epicondyle markers (Reid et al. 2010). This marker configuration was based on the guidelines provided by C-Motion Research Biomechanics®

Data transformation and analyses

From the kinematic data the following variables were computed: (1) average movement time (MT) spent for moving the pointer from one target to another, i.e. average time to complete a half cycle; and (2) Root Mean Square (RMS) of the angular displacement of participants' upper arms, forearms, trunk and pelvis during reciprocal aiming movements.

MT was used as a measure of task performance. It was computed from the low-pass-filtered position time series (cut-off frequency set at 6 Hz), in the latero-

lateral axis, of the reflective marker placed on the pointer's distal end. To compute MT, 20 half cycles were used. The first 3 and last 2 half cycles were discarded to minimize the chances of including transient performance.

The RMS of the angular displacement of participants' upper arms, forearms, trunk and pelvis, when analyzed together, were used to infer about the movement strategies supporting task performance. RMS is a measure of the overall magnitude of a varying quantity (Freedman et al. 2007). In this study, it quantified the magnitude of motion occurring at the upper arm, forearm, trunk and pelvis. Hence, the variable RMS informed about the contribution of the motion of each of these segments to task performance, allowing the evaluation of differences in movement strategy between teenagers with CP and their typically developing peers under the various experimental conditions. Note that we chose RMS instead of a regular average because the former is a better measure of magnitude when the quantity in question alternates between positive and negative values (Freedman et al. 2007). This alternating profile was characteristic of the angular position time-series, given the cyclical nature of the experimental task.

RMS was computed, specifically, for the following time-series: (1) upper arm angular position in relation to the trunk segment (hereinafter referred to as shoulder) in the frontal plane, (2) forearm angular position in relation to the upper arm segment (hereinafter referred to as elbow) in the sagittal plane, (3) trunk angular position in relation to the laboratory in the transverse plane and (4) pelvis angular position in relation to the laboratory in the transverse plane. Thus, angular position of the upper arm and forearm were computed with respect to local reference frames and angular position of the trunk and pelvis with respect to the laboratory (see Figure 3 for details).

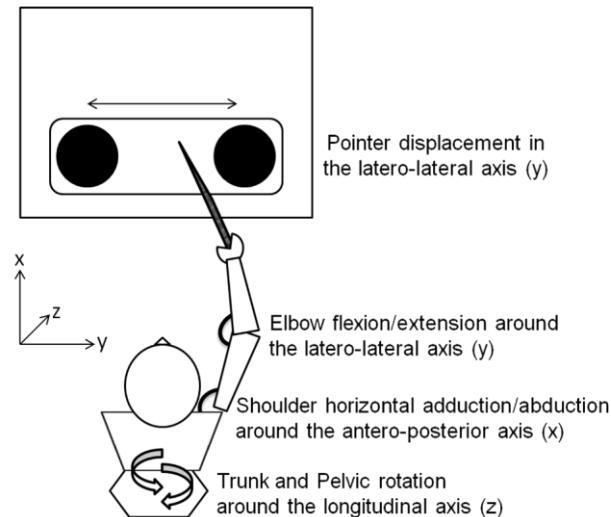


Fig. 3 Experimental set-up, from a top-down view, showing the kinematic variables used for analysis

We selected for analyses the angular position time-series of the three segments collected during the same 20 half cycles used for calculation of mean movement time. The directions of motion were selected according to their potential to support task performance (i.e. the directing of the wooden pointer to the targets). Prior to RMS calculation, all angular position time-series were low-pass filtered with a cut-off frequency of 6 Hz. Missing markers were interpolated, except if they were missing for more than 15 consecutive frames, when the trial was excluded. This procedure caused the kinematic data from two hemiplegic participants not to be included in the analyses of movement strategy.

Mixed analyses of variance (ANOVA) tested the effects of group (CP and TD) as between-subject factor, task ID (ID=3 and ID=4), pointer adequacy (higher or lower) and upper limb (preferred and non-preferred) as within-subject factors on each dependent variable (MT, RMS of the angular displacement of the shoulder, elbow, trunk and pelvis). Whenever a significant interaction effect was identified, contrast analyses were performed to determine the bivariate differences. The software SPSS (version 15.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) was used for all statistical analyses and the level of significance was set at $\alpha=0.05$.

Results

Task Performance: Average Movement Time (MT)

Hemiplegic teenagers, as well as their typically developing peers, showed longer MTs when performing the task with higher ID [$F(1,18) = 94.73, p < .001, \eta^2 = .84$], when using their non-preferred upper limb to aim at the targets [$F(1,18) = 70.51, p < .001, \eta^2 = .80$] and when handling the pointer with lower adequacy for the precision task [$F(1,18) = 11.93, p = .003, \eta^2 = .40$]. For both groups, the effect of task ID on MT was particularly evident for the non-preferred upper limb, as revealed by the *task ID x upper limb* interaction [$F(1,18) = 20.78, p < .001, \eta^2 = .54$]. Even though the performance of all teenagers was affected by task ID, upper limb and pointer adequacy, only the latter experimental manipulation affected CP and TD groups in a similar way (no significant interaction involving pointer adequacy and group, all p 's $> .262$). The former two manipulations led to greater increases in the MT for the CP group compared to the TD group, as revealed by the significant *task ID x group* [$F(1,18) = 8.10, p = .011, \eta^2 = .31$] and *upper limb x group* [$F(1,18) = 30.86, p < .001, \eta^2 = .63$] interactions.

ANOVA also revealed that the CP group exhibited worse performance (longer MTs) compared to the TD group for every condition [$F(1,18) = 35.90, p < .001, \eta^2 = .67$]. However, the effect of group on MT was influenced by the upper limb used to perform the task and the task ID, as indicated by a significant three way interaction *group x upper limb x task ID* [$F(1,18) = 10.56, p = .004, \eta^2 = .37$]. Contrast analysis revealed that, although the CP group consistently showed longer MTs compared to the TD group for every condition regarding limb and task ID, the magnitude of the difference between groups was greater when the task was performed with the non-preferred upper limb, especially for the higher ID condition (Fig. 4).

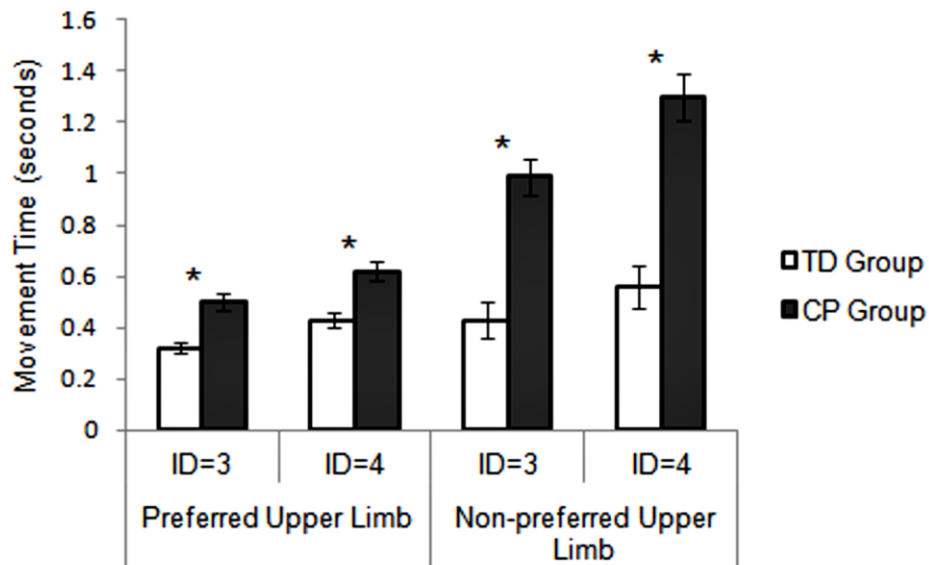


Fig. 4 Magnitude of the differences between groups in movement time increasing as a function of the upper limb used to perform the task and the task ID. Vertical lines indicate standard deviations. *Significant difference ($p < 0.05$)

Joint Kinematics

RMS of Elbow and Shoulder angular displacements

In relation to the kinematics of the upper limb, ANOVA revealed a significant *group x upper limb x task ID* interaction for the elbow's RMS data [$F(1,16) = 5.01, p = .040, \eta^2 = .24$], and a significant *group x upper limb* interaction for the shoulder's RMS data [$F(1,16) = 6.32, p = .023, \eta^2 = .28$]. Contrast analysis on those interactions demonstrated that hemiplegic teenagers, when using their non-preferred upper limb to accomplish the task, showed lower magnitudes of elbow motion and higher magnitudes of shoulder motion compared to their typically developing peers (Fig. 5). While the difference in magnitude of shoulder motion between groups was similar across task IDs, the difference in elbow motion was particularly pronounced for the task with higher ID.

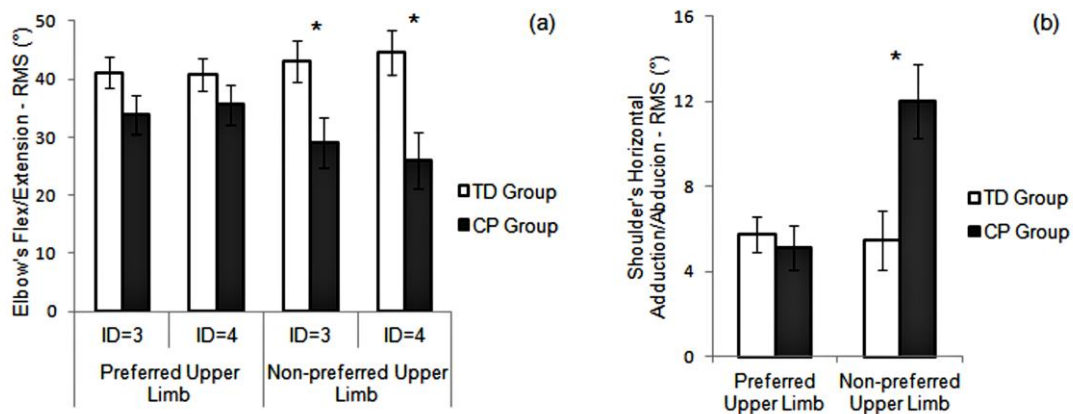


Fig. 5 (a) Root Mean Square (RMS) values of elbow's flex/extension were lower for the CP group compared to the TD group, although this difference only reached statistical significance for the non-preferred upper limb, the magnitude of the difference being greater for the task with higher ID. **(b)** RMS values of shoulder's adduction/abduction were significant higher for the CP group compared to the TD group, but only for the non-preferred upper limb. Vertical lines indicate standard deviations. * Significant difference ($p < 0.05$)

In accordance with the evidence available in literature, the above mentioned results indicate that teenagers from the CP and TD groups seem to employ different upper limb joint kinematics to perform a reciprocal aiming task, at least when using their less skilled upper limb. While the CP group tended to move a more proximal upper limb joint to cover the distance between targets, the TD group tended to move a more distal joint to perform the same task. The higher magnitudes of shoulder motion exhibited by the CP group might be related to the worse performance (higher MTs) of this group, compared to the TD group, observed in the reciprocal aiming task performed with the non-preferred upper limb. Nevertheless, similarities between groups regarding the kinematics of the preferred upper limb were not sufficient to guarantee similar performance. These results point to the intricate nature of the relation between movement strategy and task performance.

In spite of the above mentioned differences in upper limb joint kinematics revealed between CP and TD groups in face of variations (a) in the precision demands of the task and (b) in the upper limb used to perform it, similarities between CP and TD groups were observed when teenagers had to deal with changes in the properties of the pointer. Pointedly, ANOVA demonstrated a significant main effect of the pointer adequacy on elbow's RMS data [$F(1,16) = 30.23, p < .001, \eta^2 = .65$]. In particular, using the pointer with lower adequacy to aim at the targets led teenagers

from both groups to increase the magnitude of their elbow motion. As stated above, in this case, teenagers from CP and TD groups showed similar adjustments in their upper limb kinematics when dealing with changes in the contextual support provided by the tool. The analyses performed on elbow and shoulder's RMS data yielded no other significant effects or interactions (all p 's > .069 for the elbow data and all p 's > .171 for the shoulder data).

RMS of Trunk and Pelvis angular displacements

ANOVAs performed on trunk and pelvis' RMS data revealed the same significant interactions: (1) *group x task ID x pointer adequacy* [$F(1,16) = 8.27$, $p = .011$, $\eta^2 = .34$; $F(1,16) = 11.13$, $p = .004$, $\eta^2 = .41$, for trunk and pelvis, respectively] and (2) *upper limb x task ID* [$F(1,16) = 13.42$, $p = .002$, $\eta^2 = .46$; $F(1,16) = 7.81$, $p = .013$, $\eta^2 = .33$, for trunk and pelvis, respectively]. There were no other significant effects or interactions (all p 's > .063 for the trunk data and all p 's > .101 for the pelvis data). With respect to the first interaction, contrast analysis showed that only the CP group demonstrated significant difference in the magnitude of trunk and pelvis rotation between pointer conditions for the task with higher ID [$t(6) = -3.15$, $p = .020$; $t(6) = -4.86$, $p = .003$, for trunk and pelvis, respectively]. As illustrated in Fig. 6, higher magnitudes of trunk and pelvis rotation were observed when teenagers from the CP group used the pointer with lower adequacy to perform the task with higher accuracy demands. It is possible that the challenge imposed by the use of a tool with lower adequacy for precision tasks has been greater for teenagers from the CP group than for their typically developing peers, which may have caused only the former to show adjustments in their trunk and pelvis kinematics. However, because the effect of pointer adequacy on teenagers' performance was similar for both groups (no interactions involving pointer adequacy and group were found for MT variable), it is reasonable to suppose that the adjustments in movement strategy shown exclusively by hemiplegic teenagers when handling a less appropriate tool did not affect their performance in a negative manner.

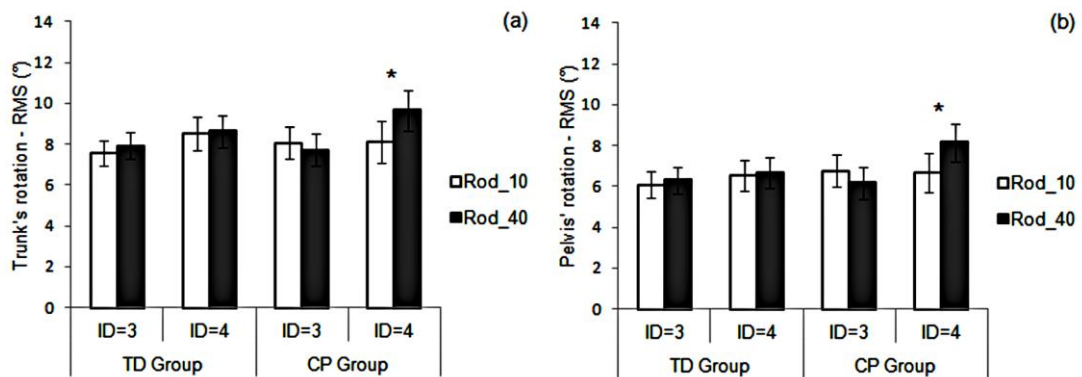


Fig. 6 The Root Mean Square (RMS) of trunk and pelvis' rotation (Figure 6a and 6b, respectively) increasing as a function of rod type, but only for CP group during the task with higher ID. Vertical lines indicate standard deviations. *Significant difference ($p < 0.05$)

While the *group x task ID x pointer adequacy* interaction revealed adjustments that were specific to the CP group, the *upper limb x task ID* interaction indicate similarities in the trunk and pelvis kinematics of both groups. In particular, for both groups, increases in task ID led to increases in the magnitude of trunk and pelvis rotation, but only when the task was performed with the non-preferred upper limb [$t(17) = -3.63, p = .002$; $t(17) = -2.73, p = .014$, for trunk and pelvis, respectively] (Fig. 7). This result points to similarities in the behavior of individuals with and without CP when facing a more difficult task condition with their less skilled upper limb. More specifically, in such condition, individuals from both groups increased the contribution of more proximal body segments (i.e. trunk and pelvis) in order accomplish the task.

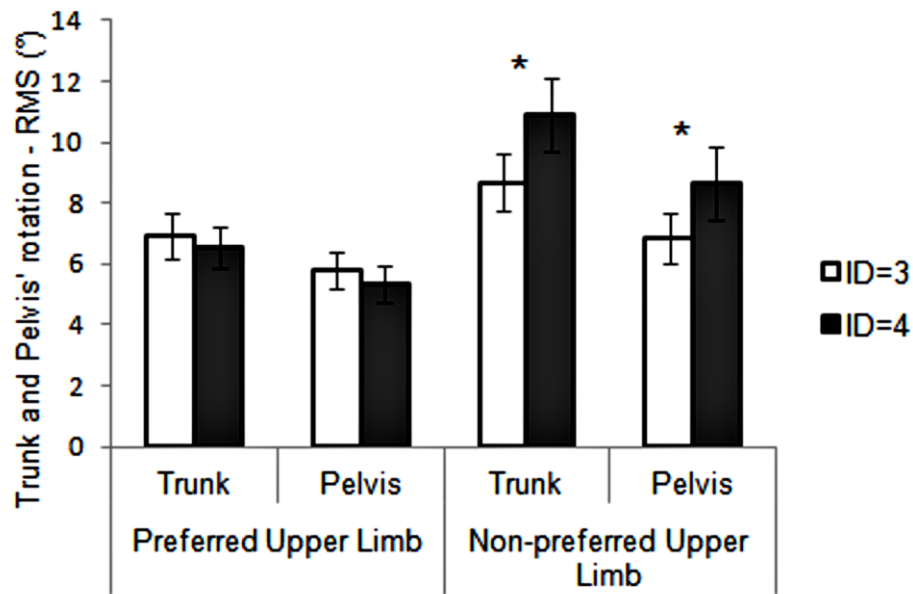


Fig. 7 The Root Mean Square (RMS) of trunk and pelvis' rotation increasing as a function of task ID for both groups, but only for the non-preferred upper limb. Vertical lines indicate standard deviations. *Significant difference ($p < 0.05$)

Discussion

This study showed that the widely reported differences between teenagers with and without CP in their performance of upper limb tasks and related movement strategies are modified by the conditions under which the task is performed. Strikingly, differences in movement strategy between hemiplegic and typically developing individuals were not even observed under less challenging conditions. Moreover, when observed, those differences were not always related to worse performance as typically assumed. These results suggest that the relation between performance and movement strategy is not direct and linear. Assuming this form of relation might lead to ineffective rehabilitation strategy to improve functionality of individuals with CP.

Teenagers with CP took longer to move between targets than typically developing teenagers regardless of the conditions involved in task performance. This result is in line with available evidence pointing to worse performance of hemiplegic teenagers during upper limb tasks (Jaspers et al. 2011 and 2009; Smits-Engelsman

et al. 2007; Mackey et al. 2006; Rönqvist and Rösblad 2007; Steenbergen and Meulenbroek 2006). The present study further demonstrated, however, that the extent to which hemiplegic teenagers differ in performance from their typically developing peers was highly dependent on the particular conditions under which the task was performed. While both groups decreased performance when the task was executed under more challenging conditions, performance of the CP group suffered more when targets were smaller and when they had to use their non-preferred limb. As a result, differences between groups were accentuated under these more challenging conditions. Relatedly, differences between groups were attenuated (albeit not eliminated) when task was performed with the preferred upper limb and when accuracy requirements were less stringent. These results indicate that the presence of pathology does not produce a rigid and fixed negative effect on task performance regardless of task condition.

The effect of pathology on performance seems to depend on how it affects the particular skills that are required for the execution of a task under a given set of conditions. Pointedly, task conditions that yield similar relations between what a task requires (task demands) and the resources available to respond to such requirements (individual's capability), seem to also yield similar performance, regardless of the presence of pathology. Considering this argument, the observed differences between groups were possibly larger in the most challenging experimental condition (small target and use of non-preferred upper limb) because the capability/demand relation was more dissimilar between groups than in the least challenging condition (large target and use of the preferred limb). In other words, the task in the former condition was relatively much more difficult for the teenagers with CP because of their reduced set of resources to respond to task demands, such as active range of motion and force generation capability. This can be expected because the size of the smaller target was selected to generate the highest accuracy demand that teenagers with CP could deal with when performing the task with their non-preferred upper limb. While the relative task demand was also higher for the TD group participants when the target was smaller and when using their non-preferred upper limb, it was not the most difficult condition in which they could successfully execute the task. Perhaps, similar performance would be observed if individuals with CP and their typically developing peers executed the task at their particular "most

difficult condition possible". This hypothesis can be directly tested by future experiments.

As noted above, the performance of the CP group was more affected by the accuracy demands and by the upper limb used to perform the task than the performance of typically developing teenagers. In contrast, the effect of contextual support, characterized by the adequacy of the pointer used to execute the task, equally affected the performance of both groups. In particular, movement time demonstrated by both groups increased to a similar extent when the less adequate pointer was used. It would be expected, given the lower capabilities of the upper limb of children with CP, specifically their lower levels of force generation (Klingels et al. 2012; Smits-Engelsman et al. 2004), that their performance would be more affected when using a pointer that generated greater resistance torques. However, the absence of significant *group x pointer adequacy* interaction indicates that the capabilities of these children, albeit deficient, were sufficient to compensate for the inadequacy of the pointer. It is likely, however, that variations in contextual support that cannot be easily compensated by children with CP given their deficiency, would differentially affect their performance. In any case, the similar effect of pointer adequacy on the performance of both groups suggest that the relevance of the deficiencies observed in children with CP should always be considered with respect to the demands involved in the performance of relevant tasks.

In conjunction, the effects of task demands and individual's capabilities on performance have direct implication to the planning of rehabilitation interventions to improve functional performance of individuals with CP. First, performance should be evaluated under varying conditions that differ with respect to the demands of the task and the contextual support offered. Second, therapists should strive to achieve a suitable capability/demand fit to optimize performance by either adjusting task requirements or by improving the skills that are needed for task performance. Third, the preferred upper limb of hemiplegic teenagers with CP, frequently regarded as non-affected, should be addressed in the rehabilitation programs of those individuals, as the use of this limb also revealed deficits in performance compared to typically developing teenagers.

With respect to teenagers' movement strategies and in agreement with previous studies (see Jaspers et al. 2009, for a review), the present contribution also revealed differences between CP and TD groups. For example, when performing the

task with their non-preferred upper limb, teenagers with hemiplegic cerebral palsy exhibited lower magnitudes of elbow movement and higher magnitudes of shoulder movement compared to their typically developing peers. The use of such strategy seems to have detrimental consequences to task performance. Using the shoulder in horizontal adduction/abduction to move the pointer between the targets not only implies in moving a larger amount of mass compared to the mass one has to move when using elbow movements, but also causes the center of mass of the effector (upper limb plus the tool used to aim at the targets) to be shifted forward, increasing the inertia of the segment.

Given the mechanical disadvantages imposed by using a proximal upper limb joint to aim at the targets, we asked why hemiplegic teenagers exhibited such strategy. Previous studies have also demonstrated increased involvement of proximal joints in the movement strategies exhibited by individuals with hemiplegic CP during performance of upper limb tasks. The authors of these studies have raised possible explanations for this observed phenomenon. Jaspers et al. (2011), Barela and Almeida (2006) and Mackey et al. (2006) claimed that using proximal joints might be a compensatory strategy for distal movement deficits. This argument is reinforced by the results of Klingels et al. (2012), which revealed that weakness in the upper limb of children and adolescents with hemiplegic CP is more pronounced in distal muscles, rather than in proximal ones.

An alternative explanation for the upper limb movement strategy exhibited by hemiplegic teenagers when performing the task with their affected upper limb is that it might reflect an attempt to freeze some of the degrees of freedom of that limb to simplify the task in order to comply with its demands. This strategy is also shown by infants learning to reach. During this period, it is suggested that infants increase joint stiffness by means of muscle co-contraction, locking distal joints and performing the reaching movements with proximal shoulder musculature (Spencer and Thelen 2000; Berthier et al. 1999). Such strategy increases the limb's resistance to potential perturbing forces that can be either external (e.g. a rapid shift in the direction of the pointer held in teenagers' hands) or internal (e.g. reaction forces produced by distal joints' motion) (Gribble et al. 2003; Spencer and Thelen 2000). Additionally, increased co-activation levels of antagonist muscles around the elbow and shoulder have been associated with increased movement accuracy (i.g. lower trajectory variability and higher endpoint accuracy) in young adults (Gribble et al. 2003). Thus,

the hemiplegic teenagers that took part in the present study might have used this strategy in order to increase their affected upper limb stability and hence their movement accuracy. In order to further explore this hypothesis we performed a subsequent analysis to verify whether the endpoint accuracy achieved by hemiplegic teenagers with their affected upper limb would be comparable to the one achieved by typically developing teenagers. As expected, neither a group effect nor interactions involving the group factor were revealed on the spatial variability data, indicating that both groups were equally accurate when hitting the targets. The downside is that in order to explore the benefits of having a more stable upper limb, teenagers with CP paid a price in terms of performance.

Another difference in movement strategy between CP and TD groups was revealed. Only hemiplegic teenagers demonstrated greater magnitudes of trunk and pelvis movements when using the pointer with lower adequacy to aim at small targets. Interestingly, in this case, the adjustments in movement strategy were not associated with worse performance. Pointedly, performance of teenagers with CP was not particularly worse in such condition. The effect of pointer adequacy on teenagers' performance was similar for both CP and TD groups (no interactions involving pointer adequacy and group were found for MT variable). Thus, the observed change in movement strategy exhibited exclusively by the CP group cannot be regarded as detrimental to their performance; rather, it may have been what assured that the effect of pointer adequacy was not greater for the CP group compared to the TD group. This finding suggests that a direct or linear relation between movement strategy and task performance should not be expected.

Although traditionally more emphasis has been directed to identifying differences between individuals with and without CP, the present study demonstrated that the movement strategies exhibited by hemiplegic teenagers did not differ from those exhibited by typically developing teenagers in all experimental situations. For example, teenagers from both CP and TD groups showed comparable increases in their trunk and pelvis rotation in order to deal with higher accuracy demands using their non-preferred upper limb. Research in non disabled individuals suggests that increasing the contribution of more proximal body segments towards the accomplishment of an upper limb task is an efficient strategy to cope with higher task accuracy demands (Van der Kamp and Steenbergen 1999; Steenbergen et al. 1995). More specifically, Steenbergen et al. (1995) suggested that moving body segments

which have a large mass and inertia, such as the trunk, might help stabilize the arm–hand system because a reduction in the movement speed and, thus, in the reactive forces produced, might occur (they called that a damping effect). Additionally, and in agreement with our results, Van Roon et al. (2004) found that increasing the precision requirements of an upper limb task (i.e. emptying the content of a spoon in a smaller bowl compared to a larger one) led adolescents with and without tetraparetic CP to increase their trunk displacement. These authors claimed that an increased trunk involvement during upper limb tasks might be used as an adaptive mechanism to improve the accuracy of reaching movements instead of being a primarily symptom of the cerebral disorder.

Another adjustment in movement strategy that was observed for all teenagers, regardless of group, was an increased elbow flex/extension when they were handling a tool with lower adequacy for precision tasks. A careful inspection of the videos obtained during data collection has allowed us to speculate on what might be underlying such adjustment. The heavy tip of the rod with lower adequacy for precision tasks seemed to have hit the targets with such intensity that a rebound effect might have occurred causing the rod and the forearm to be passively driven in the opposite direction, that is, upwards. This speculation is reinforced by the fact that the targets were covered with a rubberized material, which makes the rebound effect more likely to happen. Although it is not possible to be certain of the underlying reasons for the emergency of such movement strategy, the fact is that similar adjustments in the elbow and trunk motion were observed for individuals with and without hemiplegic CP, indicating that there are changes in movement strategy that cannot be exclusively explained by the fact that an individual has a neurological damage, but instead, by the fact that individuals adapt their movements in order to respond to the set of constraints involved in task performance. Previous studies comparing the movement strategies exhibited by teenagers with and without hemiplegic CP did not vary the demands within upper limb tasks (Jaspers et al. 2011 and 2009; Butler et al. 2010; Reid et al. 2010; Domellöf et al. 2009; Rönqvist and Rösblad 2007; Mackey et al. 2006), which might have led to the simplistic assumption that the differences found between groups were exclusively due to the existence of a neurological damage in the CP group, rather than being a result of the dissimilar capability/demand between groups.

The aforementioned increases in the magnitude of trunk, pelvis and elbow motion associated with increases in task demands seem to be related with longer movement times, that is, worse performance. For example, teenagers from both groups demonstrated greater contribution of trunk and pelvis motion when performing the task with higher ID using their non-preferred upper limb. This was also the experimental condition in which teenagers from both groups exhibited worse performance. Likewise, both groups demonstrated increased magnitude of elbow movements when handling the less appropriate tool and this experimental condition coincided with a worse performance of all teenagers, regardless of group. By changing their movement strategies in order to overcome challenging task conditions, teenagers with and without CP had their performance affected. Since teenagers with and without CP used similar movement strategies, the interpretation that such strategies are pathological is not warranted. A more plausible interpretation is that the adjustments in movement strategy were necessary to guarantee the best performance possible under the particular task conditions.

Finally, it must be pointed out that no differences between CP and TD groups were revealed for the movement strategy of the preferred upper limb. However, using similar strategies to perform the task with their more skilled upper limb did not guaranteed similar performance between hemiplegic and typically developing teenagers. It is possible that although hemiplegic teenagers, compared to their typically developing peers, were able to show similar magnitudes of shoulder and elbow motion when using their preferred upper limb, they did that at a slower pace, perhaps to avoid postural disturbances provoked by rapid limb movements. The fact that participants were required to perform the task in the standing position may represent an extra challenge for the maintenance of postural balance under the performance of rapid upper limb movements (Berrigan et al. 2006). This might have been more problematic to hemiplegic teenagers due to their reduced postural stability (Donker et al. 2008), leading them to exhibited slower upper limb movements, compared to typically developing teenagers, even when performing the task with their preferred upper limb. These results reinforce the argument that the movement strategy used to perform a particular task should not be used to make assumptions about task performance.

Conclusions

The results of the present study point to the strong influence of task demands and individual's capabilities on the performance and movement strategies exhibited by teenagers with and without CP during a reciprocal aiming task. Although hemiplegic teenagers exhibited worse task performance compared to their typically developing peers, this difference was more pronounced in more difficult task conditions and when the task was performed with their less skilled upper limb. The observed differences in task performance between teenagers with and without CP could not be fully explained by variations in their movement strategies. Differences in movement strategy were present only under more challenging task conditions and were not always detrimental to task performance. Additionally, the use of similar movement strategies was not sufficient to guarantee comparable performance between teenagers with and without CP. Thus, a direct and linear relationship between movement strategy and performance should not be assumed. The movement strategies implemented by hemiplegic teenagers to accomplish a given task, rather than being conceived as pathological and readily elected for intervention, should be carefully examined according to the task demands and to the extent that these strategies influence their performance.

References

- Barela AMF, Almeida, GL (2006) Control of voluntary movements in the non-affected upper limb of spastic hemiplegic cerebral palsy patients. *Braz J Phys Ther* 10(3):325–332. doi: 10.1590/S1413-35552006000300012
- Beckung E, Hagberg G (2002) Neuroimpairments, activity limitations, and participation restrictions in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 44(5):309–316. doi: 10.1111/j.1469-8749.2002.tb00816.x
- Berrigan F, Simoneau M, Martin O, Teasdale N (2006) Coordination between posture and movement: interaction between postural and accuracy constraints. *Exp Brain Res* 170(2):255–264. doi: 10.1007/s00221-005-0210-z
- Berthier NE, Clifton RK, McCall DD, Robin DJ (1999) Proximodistal structure of early reaching in human infants. *Exp Brain Res* 127(3):259–269. doi: 10.1007/s002210050795
- Bleyenheuft Y, Grandin CB, Cosnard G, Olivier E, Thonnard JL (2007) Corticospinal dysgenesis and upper-limb deficits in congenital hemiplegia: a diffusion tensor imaging study. *Pediatrics* 120(6):e1502–1511. doi: 10.1542/peds.2007-0394
- Braendvik SM, Elvrum AK, Vereijken B, Roeleveld K (2010) Relationship between neuromuscular body functions and upper extremity activity in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 52(2): e29–34. doi: 10.1111/j.1469-8749.2009.03490.x
- Butler EE, Ladd AL, Louie SA, Lamont LE, Wong W, Rose J (2010) Three-dimensional kinematics of the upper limb during a Reach and Grasp Cycle for children. *Gait Posture* 32(1):72–77. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.03.011
- Domellöf E, Rösblad B, Rönnqvist L (2009) Impairment severity selectively affects the control of proximal and distal components of reaching movements in children with hemiplegic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 51(10):807–816. doi: 10.1111/j.1469-8749.2008.03215.x
- Donker SF, Ledebt A, Roerdink M, Savelsbergh GJ, Beek PJ (2008) Children with cerebral palsy exhibit greater and more regular postural sway than typically developing children. *Exp Brain Res* 184(3):363–370. doi:10.1007/s00221-007-1105-y
- Duque J, Thonnard JL, Vandermeeren Y, Sébire G, Cosnard G, Olivier E (2003) Correlation between impaired dexterity and corticospinal tract dysgenesis in congenital hemiplegia. *Brain* 126(Pt 3): 732–747. doi: 10.1093/brain/awg069
- Eliasson AC, Krumlinde-Sundholm L, Rösblad B, Beckung E, Arner M, Öhrvall AM, Rosenbaum P (2006) The manual ability classification system (MACS) for children with cerebral palsy: Scale development and evidence of validity and reliability. *Dev Med Child Neurol* 48(7):549–554. doi: 10.1111/j.1469-8749.2006.tb01313.x
- Fedrizzi E, Pagliano E, Andreucci E, Oleari G (2003) Hand function in children with hemiplegic cerebral palsy: prospective follow-up and functional outcome in

adolescence. *Dev Med Child Neurol* 45(2):85–91. doi: 10.1111/j.1469-8749.2003.tb00910.x

Fitts PM (1954) The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *J Exp Psychol* 47(6):381–391. doi: 10.1037/h0055392

Freedman D, Pisani R, Purves R (2007) The Root-Mean-Square. §4.4 In: *Statistics*, 4th ed. W. W. Norton & Company, New York, pp 66-67

Gribble PL, Mullin LI, Cothros N, Mattar A (2003) Role of cocontraction in arm movement accuracy. *J Neurophysiol* 89(5):2396–2405. doi: 10.1152/jn.01020.2002

Jaspers E, Desloovere K, Bruyninckx H, Klingels K, Molenaers G, Aertbeliën E, Van Gestel L, Feys H (2011) Three-dimensional upper limb movement characteristics in children with hemiplegic cerebral palsy and typically developing children. *Res Dev Disabil* 32(6):2283–2294. doi: 10.1016/j.ridd.2011.07.038

Jaspers E, Desloovere K, Bruyninckx H, Molenaers G, Klingels K, Feys H (2009) Review of quantitative measurements of upper limb movements in hemiplegic cerebral palsy. *Gait Posture* 30(4):395–404. doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.07.110

Kaufman AS, Kaufman NL (2004) Kaufman Brief Intelligence Test (2nd ed.). San Antonio: Pearson Assessments.

Klingels K, Demeyere I, Jaspers E, De Cock P, Molenaers G, Boyd R, Feys H (2012) Upper limb impairments and their impact on activity measures in children with unilateral cerebral palsy. *Eur J Paediatr Neurol* 16(5):475–484. doi: 10.1016/j.ejpn.2011.12.008

Mackey AH, Walt SE, Stott NS (2006) Deficits in upper-limb task performance in children with hemiplegic cerebral palsy as defined by 3-dimensional kinematics. *Arch Phys Med Rehabil* 87(2):207–215. doi: 10.1016/j.apmr.2005.10.023

Rab G, Petuskey K, Bagley A (2002) A method for determination of upper extremity kinematics. *Gait Posture* 15(2):113–119. doi: 10.1016/S0966-6362(01)00155-2

Reid S, Elliott C, Alderson J, Lloyd D, Elliott B (2010) Repeatability of upper limb kinematics for children with and without cerebral palsy. *Gait Posture* 32(1):10–17. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.02.015

Rönnqvist L, Rösblad B (2007) Kinematic analysis of unimanual reaching and grasping movements in children with hemiplegic cerebral palsy. *Clin Biomech* 22(2):165–175. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2006.09.004

Smits-Engelsman BC, Rameckers EA, Duysens J (2004) Late developmental deficits in force control in children with hemiplegia. *Neuroreport* 15:1931–1935. doi: 10.1097/01.wnr.0000137491.55172.0b

Smits-Engelsman BC, Rameckers EA, Duysens J (2007) Children with congenital spastic hemiplegia obey Fitts' Law in a visually guided tapping task. *Exp Brain Res* 177(4):431–439. doi: 10.1007/s00221-006-0698-x

Spencer JP, Thelen E (2000) Spatially specific changes in infants' muscle coactivity as they learn to reach. *Infancy* 1(3):275–302. doi: 10.1207/S15327078IN0103_1

Steenbergen B, Marteniuk R, Kalbfleisch L (1995) Achieving coordination in prehension: joint freezing and postural contributions. *J Mot Behav* 27(4):333–348. doi: 10.1080/00222895.1995.9941722

Steenbergen B, Meulenbroek RGJ (2006) Deviations in upper-limb function of the less-affected side in congenital hemiparesis. *Neuropsychologia* 44(12):2296–2307. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.05.016

Van der Kamp J, Steenbergen B (1999) The kinematics of eating with a spoon: bringing the food to the mouth, or the mouth to the food? *Exp Brain Res* 129(1):68–76. doi: 10.1007/s002210050937

Van Roon D, Steenbergen B, Meulenbroek RG (2004) Trunk recruitment during spoon use in tetraparetic cerebral palsy. *Exp Brain Res* 155(2):186–195. doi: 10.1007/s00221-003-1716-x

Van Thiel E, Meulenbroek RG, Hulstijn W, Steenbergen B (2000) Kinematics of fast hemiparetic aiming movements toward stationary and moving targets. *Exp Brain Res* 132(2):230–242. doi: 10.1007/s002219900331

Van Zelst BR, Miller MD, Russo R, Murchland S, Crotty M (2006) Activities of daily living in children with hemiplegic cerebral palsy: a cross-sectional evaluation using the Assessment of Motor and Process Skills. *Dev Med Child Neurol* 48(9):723–727. doi: 10.1111/j.1469-8749.2006.tb01356.x

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste estudo acrescenta informações relevantes ao corpo de conhecimento disponível sobre (1) o desempenho de adolescentes com hemiplegia espástica e com desenvolvimento normal em tarefas de membro superior e (2) as estratégias de movimento empregadas por esses indivíduos na realização dessas tarefas. Embora o desempenho dos adolescentes com hemiplegia tenha sido inferior ao daqueles com desenvolvimento normal, confirmando evidências disponíveis na literatura, os resultados do presente estudo demonstram que a magnitude das diferenças entre grupos é mais pronunciada quando a demanda da tarefa é aumentada e quando o membro superior não preferencial é usado. Esse resultado sugere que o que pode estar por trás das diferenças entre indivíduos com e sem PC é a discrepância na relação capacidade/demanda dos mesmos, e não a presença ou ausência de lesão cerebral em si. Além disso, diferentemente do que é comumente difundido no meio científico e terapêutico, as estratégias de movimento exibidas por indivíduos com PC não devem ser assumidas como patológicas ou ineficientes. Ao contrário, essas estratégias muito provavelmente refletem a necessidade de adaptações às condições em que a tarefa é realizada, dado as capacidades do indivíduo, e parecem garantir o melhor desempenho possível diante de tais condições. Algumas dessas adaptações são, inclusive, exibidas por adolescentes com desenvolvimento normal quando estes são expostos a condições experimentais mais desafiadoras. Os resultados deste estudo ampliam o entendimento dos fatores que permeiam o uso de determinada estratégia de movimento para realizar tarefas que envolvem os membros superiores. Adicionalmente, uma análise mais exploratória dos resultados possibilita um melhor entendimento da natureza da relação entre desempenho e estratégia de movimento.

REFERÊNCIAS

BECKUNG, E.; HAGBERG, G. Neuroimpairments, activity limitations, and participation restrictions in children with cerebral palsy. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 44, n. 5, p. 309–316, 2002.

BLEYENHEUFT, Y.; GRANDIN, C.B.; COSNARD, G.; OLIVIER, E.; THONNARD, J.L. Corticospinal dysgenesis and upper-limb deficits in congenital hemiplegia: a diffusion tensor imaging study. **Pediatrics**, v. 120, n. 6, p.1502–1511, 2007.

BRAENDVIK, S.M.; ELVRUM, A.K.; VEREIJKEN, B.; ROELEVELD, K. Relationship between neuromuscular body functions and upper extremity activity in children with cerebral palsy. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 52, n. 2, p. 29–34, 2010.

BUTLER, E.E.; LADD, A.L.; LOUIE, S.A.; LAMONT, L.E.; WONG, W.; ROSE, J. Three-dimensional kinematics of the upper limb during a Reach and Grasp Cycle for children. **Gait & Posture**, v. 32, n. 1, p. 72–77, 2010.

DOMELLÖF, E.; RÖSBLAD, B.; RÖNNQVIST, L. Impairment severity selectively affects the control of proximal and distal components of reaching movements in children with hemiplegic cerebral palsy. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 51, n.10, p. 807–816, 2009.

DUQUE, J.; THONNARD, J.L.; VANDERMEEREN, Y.; SÉBIRE, G.; COSNARD, G.; OLIVIER, E. Correlation between impaired dexterity and corticospinal tract dysgenesis in congenital hemiplegia. **Brain**, v. 126, Pt. 3, p. 732–747, 2003.

ELIASSON, A.C.; KRUMLINDE-SUNDHOLM, L.; RÖSBLAD, B.; BECKUNG, E.; ARNER, M.; ÖHRVALL, A.M.; ROSENBAUM, P. The manual ability classification system (MACS) for children with cerebral palsy: Scale development and evidence of validity and reliability. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 48, n. 7, p. 549–554, 2006.

FEDRIZZI, E.; PAGLIANO, E.; ANDREUCCI, E.; OLEARI, G. Hand function in children with hemiplegic cerebral palsy: prospective follow-up and functional outcome in adolescence. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 45, n. 2, p. 85–91, 2003.

FITTS, P.M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. **Journal of Experimental Psychology**, v. 47, n. 6, p. 381–391, 1954.

FREEDMAN, D.; PISANI, R.; PURVES, R. The Root-Mean-Square. §4.4 In: **Statistics**. 4. ed. W. W. Norton & Company, New York, p. 66-67, 2007.

JASPERS, E.; DESLOOVERE, K.; BRUYNINCKX, H.; KLINGELS, K.; MOLENAERS, G.; AERTBELIËN, E.; VAN GESTEL, L.; FEYS, H. Three-dimensional upper limb movement characteristics in children with hemiplegic cerebral palsy and typically developing children. **Research in Developmental Disabilities**, v. 32, n. 6, p. 2283–2294, 2011.

JASPERS, E.; DESLOOVERE, K.; BRUYNINCKX, H.; MOLENAERS, G.; KLINGELS, K.; FEYS, H. Review of quantitative measurements of upper limb movements in hemiplegic cerebral palsy. **Gait & Posture**, v. 30, n. 4, p. 395–404, 2009.

KAUFMAN, A.S.; KAUFMAN, N.L. Kaufman Brief Intelligence Test. 2. ed. San Antonio: Pearson Assessments, 2004.

KLINGELS, K.; DEMEYERE, I.; JASPERS, E.; DE COCK, P.; MOLENAERS, G.; BOYD, R.; FEYS, H. Upper limb impairments and their impact on activity measures in children with unilateral cerebral palsy. **European Journal of Paediatric Neurology**, v. 16, n. 5, p. 475–484, 2012.

MACKEY, A.H.; WALT, S.E.; STOTT, N.S. Deficits in upper-limb task performance in children with hemiplegic cerebral palsy as defined by 3-dimensional kinematics. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 87, n. 2, p. 207–215, 2006.

MELO, A.P.P. Efeito da distribuição de massa de objeto no desempenho de crianças de diferentes idades em tarefa de precisão. Belo Horizonte, 2011. Dissertação de Mestrado – EEEFTO, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional – UFMG.

RAB, G.; PETUSKEY, K.; BAGLEY, A. A method for determination of upper extremity kinematics. **Gait & Posture**, v. 15, n. 2, p. 113–119, 2002.

REID, S.; ELLIOTT, C.; ALDERSON, J.; LLOYD, D.; ELLIOTT, B. Repeatability of upper limb kinematics for children with and without cerebral palsy. **Gait & Posture**, v. 32, n. 1, p. 10–17, 2010.

RÖNNQVIST, L.; RÖSBLAD, B. Kinematic analysis of unimanual reaching and grasping movements in children with hemiplegic cerebral palsy. **Clinical Biomechanics**, v. 22, n. 2, p. 165–175, 2007.

SMITS-ENGELSMAN, B.C.; RAMECKERS, E.A.; DUYSSENS, J. Children with congenital spastic hemiplegia obey Fitts' Law in a visually guided tapping task. **Experimental Brain Research**, v. 177, n. 4, p. 431–439, 2007.

STEENBERGEN, B.; MARTENIUK, R.; KALBFLEISCH, L. Achieving coordination in prehension: joint freezing and postural contributions. **Journal of Motor Behavior**, v. 27, n. 4, p. 333–348, 1995.

STEENBERGEN, B.; MEULENBROEK, R.G.J. Deviations in upper-limb function of the less-affected side in congenital hemiparesis. **Neuropsychologia**, v. 44, n. 12, p. 2296–2307, 2006.

VAN DER KAMP, J.; STEENBERGEN, B. The kinematics of eating with a spoon: bringing the food to the mouth, or the mouth to the food? **Experimental Brain Research**, v. 129, n. 1, p. 68–76, 1999.

VAN THIEL, E.; MEULENBROEK, R.G.; HULSTIJN, W.; STEENBERGEN, B. Kinematics of fast hemiparetic aiming movements toward stationary and moving targets. **Experimental Brain Research**, v. 132, n. 2, p. 230–242, 2000.

VAN ZELST, B.R.; MILLER, M.D.; RUSSO, R.; MURCHLAND, S.; CROTTY, M. Activities of daily living in children with hemiplegic cerebral palsy: a cross-sectional evaluation using the Assessment of Motor and Process Skills. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 48, n. 9, p. 723–727, 2006.

ANEXO A

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP

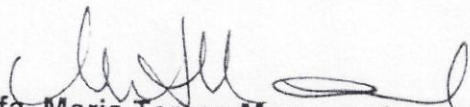
Projeto: CAAE – 09237713.0.0000.5149

Interessado(a): **Profa. Marisa Cotta Mancini**
Departamento de Terapia Ocupacional
EEFFTO - UFMG

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 15 de abril de 2013, o projeto de pesquisa intitulado **"Efeito da distribuição de massa de objeto no desempenho de crianças hemiplégicas e com desenvolvimento normal em tarefa de precisão"** bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto.


Profa. Maria Teresa Marques Amaral
Coordenadora do COEP-UFMG

APÊNDICE A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) PARA SUJEITOS DE 11 A 12 ANOS E SEUS RESPONSÁVEIS

Você e seu filho(a) estão sendo convidados a participar de uma pesquisa intitulada: “Efeito da distribuição de massa de objeto no desempenho de crianças hemiplégicas e com desenvolvimento normal em tarefa de precisão”. A pesquisa é coordenada pela Professora Marisa Cotta Mancini e contará ainda com a aluna de mestrado Priscilla Figueiredo, do programa de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG. A participação de sua criança neste estudo é inteiramente voluntária, e você (s) é (são) livre (s) para concordar ou não com a participação. Caso desejado, vocês poderão abandonar o estudo a qualquer momento sem nenhum prejuízo à relação de vocês com o pesquisador, com a UFMG ou com a Associação Mineira de Reabilitação.

O nosso objetivo é investigar se o uso de objetos com diferentes características (distribuição de massa) pode influenciar o desempenho (rapidez e precisão) de crianças em uma tarefa de precisão. Para isso, crianças e adolescentes com idades entre 11 e 13 anos serão avaliados. Todos os participantes realizarão a mesma tarefa e deverão comparecer, apenas uma vez, ao Laboratório de Análise de Movimento da Universidade Federal de Minas Gerais, localizado no primeiro andar da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. A avaliação acontecerá nesse local, em data e horário combinados com antecedência. Após a obtenção do consentimento de vocês, será pedido que seu filho(a) fique de pé em frente a uma mesa com um par de alvos e toque-os, alternadamente, com o menor intervalo de tempo possível e o máximo de precisão. Para acionamento dos alvos, será utilizada uma varinha na qual será colocado um cilindro de 20 gramas em locais diferentes. Serão utilizados dois pares de alvos de diferentes tamanhos e dois posicionamentos do cilindro na varinha e o participante realizará a tarefa com as duas mãos. O tempo total estimado para coleta dos dados é de aproximadamente uma hora e meia. Esse é o tempo esperado que a criança fique no laboratório. A criança poderá sentir desconforto ou cansaço por se manter na posição de pé

durante a realização da tarefa. Para minimizar esse efeito, serão feitos intervalos para descanso entre a realização da tarefa com cada condição.

A participação de seu(sua) filho(a) neste estudo contribuirá para o conhecimento e aprendizado de profissionais de saúde que trabalham com crianças, como terapeutas ocupacionais e fisioterapeutas, e ajudará esses profissionais a modificar objetos (como lápis, tesoura e colher) para que eles possam ser usados de forma mais fácil nas atividades feitas no dia-a-dia.

Os resultados desta pesquisa poderão ser apresentados em seminários, congressos e similares, entretanto, os dados obtidos por meio da participação de vocês serão confidenciais e sigilosos, não possibilitando a identificação da criança, que será sempre representada por um número.

Depois de ter lido as informações acima, se for da vontade de vocês participar, por favor, preencha o consentimento abaixo.

Declaro que li e entendi as informações contidas acima. Todas as minhas dúvidas foram esclarecidas e recebi uma cópia deste formulário de consentimento. Dou minha permissão para participação do meu filho(a) neste estudo.

Nome do responsável pelo sujeito da pesquisa: _____

Assinatura do responsável pelo sujeito da pesquisa: _____

Nome do sujeito da pesquisa: _____

Assinatura do sujeito da pesquisa: _____

 Profa. Dra. Marisa Cotta Mancini
 Coordenadora do Projeto de Pesquisa

 Priscilla Rezende P. Figueiredo
 Aluna de mestrado Telefone (31) 9239-7400

____/____/____
 Data

Telefones para Contato/Informações:

- Prof^ª. Dr^ª. Marisa C. Mancini, Departamento de Terapia Ocupacional UFMG, fone: (31) 3409-4790.
- Priscilla Rezende Pereira Figueiredo, Fisioterapeuta, fone: (31) 3491-8492; celular: (31) 9239-7400.

Em caso de dúvidas relacionadas a questões éticas: COEP – Comitê de Ética em Pesquisa/UFMG Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 –Unidade Administrativa II 2º. Andar –Sala 2005 – Cep 31270-901 Belo Horizonte – MG Telefone: (31) 3409-4592 Email: coep@prpq.ufmg.br

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) PARA SUJEITOS DE 13 ANOS

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa com o título: “Efeito da distribuição de massa de objeto no desempenho de crianças hemiplégicas e com desenvolvimento normal em tarefa de precisão”. Essa pesquisa é coordenada pela Professora Marisa Cotta Mancini e contará ainda com a aluna de mestrado Priscilla Figueiredo, do programa de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG. Sua participação nesta pesquisa é inteiramente voluntária, e você é livre para concordar ou não com a participação. Caso desejado, você poderá desistir de participar do estudo a qualquer momento sem nenhum prejuízo à sua relação com o pesquisador, com a UFMG ou com a Associação Mineira de Reabilitação.

O nosso objetivo é investigar se o uso de objetos com diferentes características (distribuição de massa) pode influenciar o desempenho (rapidez e precisão) de crianças e adolescentes em uma tarefa de precisão. Para isso, crianças e adolescentes com idades entre 11 e 13 anos serão avaliadas. Todos os participantes realizarão a mesma tarefa e deverão comparecer, apenas uma vez, ao Laboratório de Análise de Movimento da Universidade Federal de Minas Gerais, localizado no primeiro andar da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. A avaliação acontecerá nesse local, em data e horário combinados com antecedência com você e com seus pais e/ou responsáveis. Após a obtenção do seu consentimento, será pedido que você fique de pé em frente a uma mesa com um par de alvos e toque-os, alternadamente, o mais rápido possível e com o máximo de precisão. Para acionamento dos alvos, será utilizada uma varinha na qual será colocado um cilindro de 20 gramas em locais diferentes. Serão utilizados dois pares de alvos de diferentes tamanhos e dois posicionamentos do cilindro na varinha e você realizará a tarefa com as duas mãos. O tempo total estimado para coleta dos dados é de aproximadamente uma hora e meia. Esse é o tempo esperado que você fique no laboratório. Você poderá sentir desconforto ou cansaço por se manter na posição de pé durante a realização da tarefa. Para minimizar esse efeito, serão feitos intervalos para descanso entre a realização da tarefa com cada condição.

A sua participação neste estudo contribuirá para o conhecimento e aprendizado de profissionais de saúde que trabalham com crianças, como

terapeutas ocupacionais e fisioterapeutas, e ajudará esses profissionais a modificar objetos (como lápis, tesoura e colher) para que eles possam ser usados de forma mais fácil nas atividades feitas no dia-a-dia.

Os resultados desta pesquisa poderão ser apresentados em seminários, congressos e similares, entretanto, os dados obtidos por meio da sua participação serão confidenciais e sigilosos, não possibilitando a sua identificação, já que você será sempre representado(a) por um número.

Depois de ter lido as informações acima, se for de sua vontade participar, por favor, preencha o consentimento abaixo.

Declaro que li e entendi as informações contidas acima. Todas as minhas dúvidas foram esclarecidas e recebi uma cópia deste formulário de consentimento. Dou minha permissão para minha participação neste estudo.

Nome do sujeito da pesquisa: _____

Assinatura do sujeito da pesquisa: _____

 Profa. Dra. Marisa Cotta Mancini
 Coordenadora do Projeto de Pesquisa

 Priscilla Rezende P. Figueiredo
 Aluna de mestrado Telefone (31) 9239-7400

____/____/____
 Data

Telefones para Contato/Informações:

- Profª. Drª. Marisa C. Mancini, Departamento de Terapia Ocupacional UFMG, fone: (31) 3409-4790.
- Priscilla Rezende Pereira Figueiredo, Fisioterapeuta, fone: (31) 3491-8492; celular: (31) 9239-7400.

Em caso de dúvidas relacionadas a questões éticas: COEP – Comitê de Ética em Pesquisa/UFMG Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 –Unidade Administrativa II 2º. Andar –Sala 2005 – Cep 31270-901 Belo Horizonte – MG Telefone: (31) 3409-4592 Email: coep@prpq.ufmg.br

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) PARA OS RESPONSÁVEIS PELOS SUJEITOS DE 13 ANOS

Seu filho(a) está sendo convidados a participar de uma pesquisa intitulada: “Efeito da distribuição de massa de objeto no desempenho de crianças hemiplégicas e com desenvolvimento normal em tarefa de precisão”. A pesquisa é coordenada pela Professora Marisa Cotta Mancini e contará ainda com a aluna de mestrado Priscilla Figueiredo, do programa de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG. A participação de seu(sua) filho(a) neste estudo é inteiramente voluntária, e você (s) é (são) livre (s) para concordar ou não com a participação. Caso desejado, vocês poderão abandonar o estudo a qualquer momento sem nenhum prejuízo à relação de vocês com o pesquisador, com a UFMG ou com a Associação Mineira de Reabilitação.

O nosso objetivo é investigar se o uso de objetos com diferentes características (distribuição de massa) pode influenciar o desempenho (rapidez e precisão) de crianças e adolescentes em uma tarefa de precisão. Para isso, crianças e adolescentes com idades entre 11 e 13 anos serão avaliados. Todos os participantes realizarão a mesma tarefa e deverão comparecer, apenas uma vez, ao Laboratório de Análise de Movimento da Universidade Federal de Minas Gerais, localizado no primeiro andar da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. A avaliação acontecerá nesse local, em data e horário combinados com antecedência. Após a obtenção do consentimento de vocês, será pedido que seu filho(a) fique de pé em frente a uma mesa com um par de alvos e toque-os, alternadamente, com o menor intervalo de tempo possível e o máximo de precisão. Para acionamento dos alvos, será utilizada uma varinha na qual será colocado um cilindro de 20 gramas em locais diferentes. Serão utilizados dois pares de alvos de diferentes tamanhos e dois posicionamentos do cilindro na varinha e o participante realizará a tarefa com as duas mãos. O tempo total estimado para coleta dos dados é de aproximadamente uma hora e meia. Esse é o tempo esperado que o participante fique no laboratório. A criança ou adolescente poderá sentir desconforto ou cansaço por se manter na posição de pé durante a realização da tarefa. Para minimizar esse efeito, serão feitos intervalos para descanso entre a realização da tarefa com cada condição.

A participação de seu(sua) filho(a) neste estudo contribuirá para o conhecimento e aprendizado de profissionais de saúde que trabalham com crianças, como terapeutas ocupacionais e fisioterapeutas, e ajudará esses profissionais a modificar objetos (como lápis, tesoura e colher) para que eles possam ser usados de forma mais fácil nas atividades feitas no dia-a-dia.

Os resultados desta pesquisa poderão ser apresentados em seminários, congressos e similares, entretanto, os dados obtidos por meio da participação de vocês serão confidenciais e sigilosos, não possibilitando a identificação de seu (sua) filho(a), que será sempre representado(a) por um número.

Depois de ter lido as informações acima, se for da vontade de vocês participar, por favor, preencha o consentimento abaixo.

Declaro que li e entendi as informações contidas acima. Todas as minhas dúvidas foram esclarecidas e recebi uma cópia deste formulário de consentimento. Dou permissão para participação do meu filho(a) neste estudo.

Nome do responsável pelo sujeito da pesquisa: _____

Assinatura do responsável pelo sujeito da pesquisa: _____

 Profa. Dra. Marisa Cotta Mancini
 Coordenadora do Projeto de Pesquisa

 Priscilla Rezende P. Figueiredo
 Aluna de mestrado Telefone (31) 9239-7400

____/____/____
 Data

Telefones para Contato/Informações:

- Prof^ª. Dr^ª. Marisa C. Mancini, Departamento de Terapia Ocupacional UFMG, fone: (31) 3409-4790.
 - Priscilla Rezende Pereira Figueiredo, Fisioterapeuta, fone: (31) 3491-8492; celular: (31) 9239-7400.
- Em caso de dúvidas relacionadas a questões éticas:** COEP – Comitê de Ética em Pesquisa/UFMG Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 –Unidade Administrativa II 2º. Andar –Sala 2005 – Cep 31270-901 Belo Horizonte – MG Telefone: (31) 3409-4592 Email: coep@prpq.ufmg.br