

JULIANA MELO OCARINO

**PERCEPÇÃO HÁPTICA EM CRIANÇAS COM DESENVOLVIMENTO
TÍPICO E CRIANÇAS COM DISTÚRBIOS DO DESENVOLVIMENTO**

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

JULIANA MELO OCARINO

**PERCEPÇÃO HÁPTICA EM CRIANÇAS COM DESENVOLVIMENTO
TÍPICO E CRIANÇAS COM DISTÚRBIOS DO DESENVOLVIMENTO**

Tese 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 à obtenção do título de Doutor em Ciências da Reabilitação.

Área de Concentração: Desempenho Funcional Humano

Orientador: Prof. Dr. Sérgio T. Fonseca

Co-Orientadora: Prof^a. Dra. Marisa C. Mancini

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte

2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL
COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO
DEPARTAMENTOS DE FISIOTERAPIA E DE TERAPIA OCUPACIONAL
E-MAIL: mesreab@effto.ufmg.br SITE: www.effto.ufmg.br/mreab
Fone/fax: 31- 3409.4781

ATA DE NÚMERO 02 (DOIS) DA SESSÃO DE ARGUIÇÃO E DEFESA DE TESE APRESENTADA PELA CANDIDATA **JULIANA DE MELO OCARINO** DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO.....

Aos 28 (vinte e oito) dias do mês de outubro do ano de dois mil e nove, realizou-se na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, a sessão pública para apresentação e defesa de Tese "**PERCEPÇÃO HÁPTICA EM CRIANÇAS COM DESENVOLVIMENTO TÍPICO E CRIANÇAS COM DISTÚRBIOS DO DESENVOLVIMENTO**" de **JULIANA DE MELO OCARINO**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes professores doutores: Sérgio Teixeira da Fonseca, Ana Maria Pellegrini, Rodolfo Novellino Benda, Elyonara Mello de Figueiredo e Renata Noce Kirkwood, sob a presidência do primeiro. Os trabalhos iniciaram-se às 13:30 horas com apresentação oral da candidata, seguida de arguição pelos membros da Comissão Examinadora. Após avaliação, os examinadores consideraram a candidata *aprovada e apta a receber o título de Doutor após a entrega da versão definitiva da Tese*. Nada mais havendo a tratar, eu, Marilane Soares, 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, 28 de outubro de 2009.....

Professor Dr Sérgio Teixeira da Fonseca

Professor^a Dr^a Ana Maria Pellegrini

Professor Dr Rodolfo Novellino Benda

Professor^a Dr^a Elyonara de Mello Figueiredo

Professor^a Dra. Renata Noce Kirkwood

Marilane Soares

Secretária do Colegiado de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação

Aos meus pais Lêda e Beto pelo amor, compreensão e apoio incondicionais, sem vocês nada teria sido possível. Aos meus irmãos Xande, César e Natália pelo carinho e aos meus sobrinhos Maíra, Lucas, Giulia e Henrique pelos momentos de encanto.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmãos pelo amor, paciência e principalmente por sempre acreditarem em mim. À minha irmã Natália pela ajuda naqueles momentos mais difíceis.

Ao professor Sérgio Fonseca por todos os ensinamentos e oportunidades. Por ter sido, durante esses nove anos de convivência, uma referência de profissionalismo, conhecimento e superação. A você minha eterna gratidão e admiração.

À professora Marisa Mancini pelo apoio constante, pelo carinho e principalmente pelo exemplo de competência que me foi passado em toda essa jornada.

Às professoras Ana Maria Pellegrini, Elyonara Figueiredo e Renata Kirkwood pelas valorosas sugestões dadas durante meu exame de qualificação.

À Banca da defesa de Doutorado composta pelos professores Ana Maria Pellegrini, Rodolfo Novellino Benda, Elyonara Figueiredo e Renata Kirkwood.

À Gabriela Pavan pela amizade incondicional e por ter sido uma grande parceira de trabalho durante esses vários anos.

À minha sempre amiga e companheira de trabalho, Paula Lanna por seus comentários valorosos que ajudaram tanto no engrandecimento deste trabalho e por sua constante torcida pelo meu sucesso.

À minha amiga Paula Chagas pelos conselhos, companheirismo e pelos importantes esclarecimentos sobre a área de desenvolvimento infantil.

À amiga Prof^a Daniela Vaz por suas tão inspiradoras idéias e perspectivas, e por seu constante carinho e torcida.

Àqueles que se ligaram a este trabalho deixando também sua contribuição. Foram eles: Thales Souza, Vanessa Lara, Viviane Carvalhais e Natália Bitencourt.

Ao Bruno Paes pela ajuda na coleta de dados.

À minha amiga Cecília Aquino que mesmo a distância estava torcendo por mim e me ajudou com suas doces palavras.

Às minhas colegas de doutorado Prof^a Sheyla Furtado e Cristina Moraes pelos ótimos momentos de discussão e convivência.

Ao Centro Universitário de Belo Horizonte, especialmente à Prof^a Coordenadora Livia Lazzarotto, pelo incentivo e por conseguir me manter com uma carga horária compatível com o Doutorado.

Aos professores da área de ortopedia do UNIBH: Lygia Paccini, Ana Cristina Sakamoto, Cláudia Venturini, Arno Ribeiro e, especialmente, Fabiano Botelho pela ajuda, compreensão e amizade principalmente na fase final do meu trabalho.

Aos centros de Reabilitação que ao se tornarem parceiros possibilitaram a realização deste trabalho. São eles:

Associação Mineira de Reabilitação (AMR): Marina Brandão (TO), Patrícia Vieira (Coordenadora da Reabilitação), Leonardo Cury (Gerente Médico).

Clínica Intervir (APAE-BH): Silvana Almeida Viana (TO) e Lêda Fioravante Diniz (Diretora).

Escola Oficina Sofia Antipoff (APAE-BH): Maria das Graças Mota (Diretora) e Ilza Lopes (Secretária).

Núcleo Assistencial Caminhos para Jesus: Marina Moraes (FT), Márcia Dias (Coordenadora), Raul Marinuzzi (Diretor Geral) e Nelson Luiz (Vice Diretor).

Aos Fisioterapeutas Prof^a Ana Paula Benseman Gontijo, Solange Nogueira e Haroldo Leite Fonseca por terem disponibilizado nosso contato com vários pacientes.

Aos pais, responsáveis e às crianças que consentiram com a participação no estudo.

Aos professores dos Departamentos de Fisioterapia pelos ensinamentos e pelo carinho com que sempre me trataram.

À Professora Marcella Guimarães pela constante torcida.

Aos funcionários do Departamento de Fisioterapia da EEFFTO: Marilane, Gilvânia, Margareth, Rivamar e Richard, por sempre terem me atendido com tanto carinho e dedicação.

Agradeço principalmente a Deus pela força e pelos inúmeros momentos de inspiração

Crescer significa mudar e mudar envolve riscos, uma passagem do conhecido para o desconhecido.

Autor desconhecido

RESUMO

A percepção háptica baseada em ação muscular (tato dinâmico) permite a um indivíduo perceber dimensões e orientação de objetos através do contato mecânico com uma pequena porção do objeto. A habilidade de perceber essas propriedades por meio do tato dinâmico já está bem documentada em indivíduos adultos e saudáveis. Aquisição dessa habilidade perceptual não tem recebido a mesma atenção na população infantil. Além disso, como a percepção háptica envolve exploração ativa do meio, restrições de movimento poderiam interferir nessa habilidade perceptual. Existe uma carência de estudos que informem sobre a percepção háptica (tato dinâmico) em crianças de diferentes idades, bem como em crianças com distúrbios do desenvolvimento. Portanto, os objetivos gerais desta tese foram: 1) investigar o desenvolvimento da percepção háptica em crianças com desenvolvimento típico; 2) avaliar a percepção háptica de crianças com distúrbios do desenvolvimento; 3) comparar as habilidades hápticas dessas crianças com as de crianças com desenvolvimento típico. Para alcançar esses objetivos, foram realizados dois estudos. No primeiro, a percepção háptica foi avaliada por meio de uma tarefa de perceber a utilidade funcional de hastes para puxar objetos em crianças com desenvolvimento típico de 4, 6, 8 e 10 anos de idade e em adultos (12 participantes em cada idade). Para este estudo, foram utilizadas duas hastes retas e duas em forma de L, com equivalência de massa, mas diferentes momentos de inércia. O desempenho da criança na tarefa foi avaliado por um índice de concordância observado no julgamento. A análise dos dados demonstrou que crianças mais velhas (8 e 10 anos) não foram diferentes de adultos ($p > 0,423$) e tiveram índice de concordância significativamente maior ($p = 0,001$) do que crianças mais jovens (4 e 6 anos de idade), o

que sugere que a percepção haptica avaliada por meio desta tarefa está consolidada a partir dos oito anos de idade. No segundo estudo, a percepção háptica foi avaliada em 14 crianças com desenvolvimento típico (Grupo DT), 12 crianças com hemiplegia espástica (Grupo PC) e 10 crianças com síndrome de Down (Grupo SD). Neste estudo, a percepção háptica foi avaliada por meio de duas tarefas: percepção da utilidade funcional de hastes para puxar objetos (tarefa 1) e percepção do comprimento de hastes (tarefa 2). As análises dos dados demonstraram que crianças com distúrbios do desenvolvimento tiveram índice de concordância significativamente inferior ($P < 0.05$), sugerindo um possível déficit na habilidade perceptual háptica avaliada na tarefa 1. Na tarefa 2, modelos de regressão hierárquica demonstraram uma variabilidade significativa entre crianças ($p < 0.0001$). Parte dessa variância foi explicada significativamente pelo grupo do qual a criança pertencia ($p < 0.0001$), sugerindo que os comprimentos das hastes foram percebidos diferentemente em cada grupo. No grupo DT, o momento principal de inércia de maior magnitude foi um preditor significativo do comprimento percebido ($p < 0.0001$). Entretanto, o mesmo não foi observado nos outros grupos ($p > 0.05$), o que sugere que as crianças desses grupos não conseguiram detectar a informação relevante que suporta a percepção do comprimento das hastes. Os resultados destes estudos possibilitaram uma melhor compreensão sobre a faixa etária de consolidação da percepção háptica em crianças típicas, bem como sobre o impacto de condições como paralisia cerebral e síndrome de Down nas habilidades perceptuais hápticas avaliadas.

Palavras-chave: percepção háptica, tato dinâmico, paralisia cerebral, síndrome de down, desenvolvimento típico

ABSTRACT

Dynamic touch is a kind of haptic perception that allows individuals to perceive dimension and orientation of objects by means of mechanical contact with only a small part of these objects. The ability to perceive objects' properties by means of dynamic touch has been mainly assessed in healthy adult individuals. The acquisition of this ability during childhood has not been received the same attention. In addition, as haptic perception depends on active exploration of the environment, the presence of movement impairments may influence the children's haptic perceptual skill. There is a lack of studies about haptic perception in children with different ages, as well as, in children with developmental disorders. Therefore, the objectives of this thesis were: 1) to assess haptic perception in children with typical development of different ages; 2) to assess haptic perception of children with developmental disorders and 3) to compare the haptic perceptual capability of these children with typically developing children. Two studies were conducted to achieve these objectives. In the first study, haptic perception of rods that could or could not be used to pull objects was assessed in typically developing children of 4, 6, 8 and 10 years of age and in adult subjects (12 participants per age group). For this task, two straight rods and two L-shaped rods with equivalent masses, but different moments of inertia were used. Children performance was assessed by means of an agreement index. The data analyses demonstrated that older children (8 and 10 years) were not different of adult subjects ($p > 0.423$), but they had higher agreement index when compared to younger children ($p = 0.001$). These results suggest the haptic perceptual capability assessed in this study is fully developed at the age of eight. In the second study, haptic perception was assessed in fourteen typically

developing children, ten children with Down syndrome and twelve children with cerebral palsy. Two tasks were used to assess the haptic perceptual capability of these children: perception of usefulness of rods to pull objects (task 1) and the perception of rods length (task 2). Data analyses indicated that children with developmental disorders had lower agreement index ($P < 0.05$), suggesting a possible deficit in haptic perception of these children assessed by means of task 1. In task 2, multilevel regression models demonstrated a significant between-subject variability ($p < 0.0001$). Part of this variance was explained by group ($p < 0.0001$), suggesting that rod length was differently perceived by each group. In the group of children with typical development the largest principal moment of inertia was a significant predictor of perceived length ($p < 0.0001$). The same did not occur in children with developmental disorders ($p > 0.05$). This result suggests that children with developmental disorders, compared to typical children, are not capable to detect the relevant information gives support to haptic perception of rods' length. Therefore, the results of both studies allowed a better understanding about the age in which haptic perception is consolidated in typically developing children, as well as the impact of developmental disorders, such as cerebral palsy and Down syndrome, in haptic perceptual abilities assessed in this study.

Keywords: Haptic perception, dynamic touch, cerebral palsy, Down syndrome, typical development

SUMÁRIO

PREFÁCIO	14
Capítulo 1 – INTRODUÇÃO	15
1.1 - Objetivos dos estudos	27
1.2 - Hipóteses dos estudos.....	28
Capítulo 2 - MATERIAIS E MÉTODOS	
2.1 – Estudo 1	29
2.1.1 – Amostra	29
2.1.2 – Instrumentação	30
2.1.3 – Procedimentos	31
2.1.4 - Análise estatística	33
2.2 – Estudo 2	34
2.2.1 – Amostra	34
2.2.2 – Instrumentação	35
2.2.3 – Procedimentos	37
2.2.4 – Redução dos dados	40

2.2.5 – Análise estatística	40
Capítulo 3 - ARTIGOS	
3.1 – “Haptic Perception in Typically Developing Children”	45
3.2 – “Haptic perception in children with typical development and children with developmental disorders”	77
Capítulo 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
APÊNDICES	123
ANEXOS	133

PREFÁCIO

A presente Tese de Doutorado foi elaborada de acordo com as normas estabelecidas pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da UFMG. A estrutura desta Tese compreende quatro capítulos. O primeiro capítulo contém a Introdução expandida que abrange a problematização do tema, revisão da literatura, justificativa do estudo e objetivos dos dois trabalhos elaborados. No segundo capítulo encontra-se a descrição detalhada dos métodos utilizados nos dois trabalhos. O terceiro capítulo contém os dois artigos científicos, produtos finais da Tese. O primeiro artigo intitulado "*Haptic Perception in Typically Developing Children*" foi redigido e formatado de acordo com as normas da *American Psychological Association*, 5ª edição. Estas normas são adotadas pelo periódico *Human Movement Science* para o qual este trabalho foi enviado para publicação. O segundo artigo intitulado "*Haptic perception in children with typical development and children with developmental disorders*" está formatado seguindo as normas do periódico *Neuroscience Letters* para o qual este trabalho será posteriormente enviado para publicação. No quarto capítulo desta Tese são apresentadas as considerações finais relacionadas aos resultados encontrados. Em seguida estão incluídos as referências bibliográficas, os apêndices e anexos de acordo com as normas da ABNT.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A realização de diversas atividades de vida diária envolve o manuseio de diferentes tipos de objetos e ferramentas. A capacidade de perceber propriedades de um objeto como comprimento, peso, ou até mesmo sua orientação em relação à mão ou ao ambiente é essencial para que o manuseio e utilização desse objeto sejam eficientes (1-3). A percepção de algumas dessas propriedades pode ser realizada através da extração de informação visual obtida ao se olhar para o objeto (4). Entretanto, em algumas situações, a visão pode estar ocluída ou o foco visual pode estar direcionado a outro evento específico. Nestes casos, a percepção dessas propriedades de objetos e do corpo também se faz possível por meio do próprio corpo ou contato mecânico, sendo conhecida na literatura como percepção háptica (5, 6). Este termo foi descrito por James Gibson em 1966 (7) para denominar o tipo de percepção que envolve a extração de informação referente a propriedades dos objetos (informação exteroceptiva), referente à orientação de segmentos corporais uns em relação aos outros (informação propioceptiva) e informação do próprio corpo e seus segmentos em relação ao ambiente ou ao objeto que está sendo manuseado (informação exproprioceptiva) (7).

A percepção não visual das propriedades de um objeto é possível ao se realizar a exploração tátil desse objeto (8). Entretanto, em atividades funcionais essa percepção ocorre sem que toda a extensão do objeto seja explorada. Nestes casos, a percepção não visual dessas propriedades e das possibilidades de ação ofertadas pelo objeto é possível via contato mecânico com apenas uma pequena porção do objeto (9). A percepção háptica que envolve movimentos rotatórios e esforço

muscular para manipular e explorar objetos e membros é conhecida na literatura como tato dinâmico (*dynamic touch*) ou percepção baseada em ação muscular (*muscle-based perception*) (9, 10). Este tipo de percepção háptica permite ao indivíduo perceber propriedades necessárias à realização de atividades de manuseio de objetos e ferramentas como, por exemplo, erguer um copo, carregar objetos, utilizar um martelo, entre outras. Além disso, tem sido proposto que a percepção baseada em ação muscular é importante também para manutenção de postura e eficiência de movimentos como andar, correr, alcançar objetos entre outros (11). A importância desse tipo de habilidade perceptual para a adaptabilidade de um indivíduo em diferentes contextos fica evidente em casos raros de neuropatia em que apenas as fibras sensoriais são acometidas (12). Em um dos casos mais graves documentado na literatura, um indivíduo perdeu toda percepção háptica abaixo do pescoço, impossibilitando a percepção das propriedades de todos os segmentos corporais abaixo desta região. Como consequência, este indivíduo teve que aprender a fazer todos os movimentos a partir do controle visual, o que gerou uma grande perda da eficiência dos movimentos, da manutenção postural e da capacidade de lidar com perturbações inesperadas (12). Este exemplo ilustra as graves limitações funcionais que podem ser geradas no caso de uma incapacidade do sistema perceptual háptico para detectar informação relevante para adaptabilidade do indivíduo em seu ambiente.

Durante a exploração de objetos e segmentos corporais com o objetivo de perceber suas propriedades vários parâmetros sofrem variação como força muscular e torques gerados pelo indivíduo, e deslocamento, velocidade e aceleração angular do objeto (13). Para a percepção das propriedades de objetos e, conseqüentemente, das possibilidades de ação ofertadas por ele é necessário que o indivíduo seja

capaz de detectar uma variável que consiga representar todas as transformações que ocorrem no movimento e que, de alguma forma, permaneça invariante a essas transformações. Na matemática e na física um invariante é uma propriedade de um sistema que se mantém inalterada diante de transformações físicas desse sistema (14). De acordo a abordagem ecológica proposta por James Gibson (4), a percepção de propriedades, eventos do ambiente e das possibilidades de ação ofertadas pelo mesmo envolve a detecção de parâmetros invariantes presentes nos diferentes padrões de energia (luminosa, sonora, química e de deformação tecidual). Vários invariantes para percepção visual foram documentados na literatura (4, 15-17). Invariância nos padrões de mudança do fluxo de estimulação visual (fluxo ótico) como, por exemplo, fluxo de expansão radial de uma imagem no campo visual de um observador informa o movimento de aproximação deste em direção ao objeto. O contrário, ou seja, afastamento é especificado por um fluxo de retração da imagem no campo visual do observador (4, 16). Outra variável reconhecida como possível invariante para percepção visual é denominada *tau*. Esta variável é obtida pela razão entre o tamanho da imagem projetada do objeto e a sua taxa de expansão no campo visual do observador e especifica tempo para contato do observador com o objeto (15). Estes são alguns exemplos de um vasto número de invariantes (informação) que suportam a percepção visual de eventos no ambiente e que, conseqüentemente, guiam comportamentos adaptativos a essa informação (4, 18 - 21).

Em relação à percepção háptica, existem descritas na literatura algumas variáveis mecânicas que são propostas como invariantes para o sistema perceptual háptico, tais como, massa, centro de massa, trabalho, comprimento equivalente, entre outras (13). Entretanto, existem evidências de que estas variáveis não podem

ser consideradas invariantes que especificam propriedades como comprimento, forma ou orientação, uma vez que a manipulação dessas variáveis não interfere na percepção de nenhuma dessas propriedades (13). Por outro lado, o segundo momento de distribuição de massa de um objeto ou momento de inércia (I) tem sido apontado como um dos possíveis candidatos a papel de invariante para o sistema perceptual háptico (9, 12, 13). O momento de inércia representa a resistência de um objeto a mudanças na sua aceleração angular quando este está sendo movimentado em torno de um eixo de rotação. Este parâmetro é obtido pela multiplicação da massa do objeto pelo quadrado da sua distância em relação ao ponto de rotação (mL^2) (22). Portanto, o momento de inércia depende da quantidade de massa e de como essa massa está distribuída em relação ao eixo de rotação. Por exemplo, uma haste com distribuição assimétrica de massa, em formato de “L”, oferece uma maior resistência à aceleração rotacional (maior momento de inércia) quando comparado a uma haste reta em que a massa está simetricamente distribuída em relação ao eixo de rotação (12). Como a movimentação exploratória de um objeto envolve a imposição de forças nos três eixos ortogonais (X,Y,Z), a inércia rotacional em apenas um eixo não seria um valor representativo da realidade física envolvida na dinâmica dessa exploração (9). Nestes casos, um tensor de inércia (I_{ij}), representado matematicamente por uma matriz 3×3 ¹, possibilita o acoplamento de todos os movimentos e forças impostos ao objeto durante a sua exploração. Este tensor é composto pelos momentos de inércia dispostos na diagonal da matriz e pelos produtos de inércia dispostos fora da diagonal. Os momentos de inércia representam a resistência do objeto à sua aceleração rotacional nos três eixos ortogonais (I_{xx} , I_{yy} , I_{zz}) arbitrariamente estabelecidos no ponto de rotação. Os produtos de inércia

¹ A representação matricial do tensor de inércia encontra-se descrita no Apêndice B.

representam a resistência à rotação em direções perpendiculares aos eixos ortogonais (I_{xy} , I_{xz} , I_{yz}), e, portanto, refletem a assimetria de distribuição de massa do objeto (12). A diagonalização do tensor de inércia faz com que suas coordenadas passem a coincidir com os eixos de simetria do objeto de forma que a resistência do objeto à aceleração rotacional passa a ser igualmente distribuída em torno do ponto de rotação. Por meio da diagonalização é possível obter os momentos principais de inércia ou autovalores (I_1 , I_2 , I_3)² e suas respectivas orientações ou autovetores (e_1 , e_2 , e_3) (23, 24). Vários estudos comprovaram que os autovalores e autovetores (tensor de inércia) são invariantes que especificam propriedades mecânicas de objetos e segmentos corporais (6, 25-29).

Manipulações experimentais classicamente utilizadas para avaliar a percepção háptica e comprovar o papel invariante do tensor de inércia envolvem tarefas de percepção não visual do comprimento de objetos (25, 30-33). De forma geral, esses objetos são hastes cilíndricas de diferentes comprimentos com massas adicionadas em posições específicas (12). Essa adição de massa é realizada com o objetivo de manipular a distribuição de massa das hastes, modificando assim sua resistência a mudanças na sua aceleração angular. Vários estudos demonstraram que essa adição de massa em diferentes posições em uma haste altera seus momentos de inércia e provoca percepções de diferentes comprimentos. Quando a massa é adicionada distante do eixo de rotação, ocorre um aumento da distância do centro de massa em relação a este eixo, o que aumenta a resistência da haste a movimentos rotatórios (9, 34). Neste caso, indivíduos percebem essas hastes com maior momento de inércia como tendo maior comprimento (26, 29, 33). O contrário é observado quando ocorre redução da distância entre o centro de massa e o eixo de

² Os valores subscritos 1, 2 e 3 representam os momentos principais de inércia de maior, intermediária e menor magnitude respectivamente.

rotação obtida com adição de massa próximo ao eixo. Indivíduos percebem essas hastes como sendo mais curtas (26, 29, 33). Portanto, vários estudos têm demonstrado que a percepção de comprimento das hastes é uma função do tensor de inércia (24-26, 28, 31, 35). Quando objetos de diferentes densidades e diâmetros são manipulados, a percepção de seu comprimento parece ser determinada pelos autovalores I_1 e I_3 (26). Por outro lado, a percepção de hastes cilíndricas com densidade uniforme e diâmetro fixo ocorre em função do momento principal de inércia de maior magnitude (I_1). Essa diferença é devido ao fato de que a grande variação da densidade e do diâmetro das hastes resulta em uma contribuição significativa do terceiro autovalor, de forma que I_1 e I_3 juntos conseguem explicar 97% da variância observada na percepção de comprimento (26). Por outro lado, em hastes com densidade uniforme e pequeno diâmetro a variação de I_3 é limitada, diminuindo sua contribuição para percepção de comprimento. Para estas hastes, a percepção de comprimento é suportada pela detecção apenas de I_1 (24, 26, 31, 36). Além disso, pode ser observado que a relação entre comprimento percebido e o maior autovalor (I_1) ocorre de acordo com uma função de potência cujo expoente é próximo de $1/3$ (13). Dessa forma, todos esses experimentos comprovam que os autovalores do tensor diagonalizado são a base informacional para a percepção de comprimento de objetos.

Tarefas relacionadas à percepção de orientação de objetos e segmentos corporais também são utilizadas para avaliar a percepção háptica (12). Turvey et al. (37) demonstraram que indivíduos adultos, ao manipular hastes em formato de L sem o auxílio da visão, são capazes de identificar a orientação do prolongamento em L das hastes em relação à mão. Segundo esses autores, os autovetores são a base informacional para a percepção da orientação dessas hastes. A mesma base

informativa foi identificada em experimentos que envolviam percepção de orientação de segmentos corporais (27, 38, 39). Nestes experimentos, a distribuição de massa dos membros superiores foi alterada com utilização de hastes e pequenos pesos. Em tarefas nas quais os indivíduos foram solicitados a apontar o membro superior para determinados alvos, o alinhamento membro-alvo ocorreu de acordo com a orientação dos autovetores que representavam a assimetria de distribuição de massa do sistema haste-braço e não de acordo com o eixo longitudinal do braço (40). Além disso, quando solicitados a alinhar os antebraços um em relação ao outro, os participantes alinharam os autovetores do antebraço, não importando a angulação da articulação do cotovelo (39). Dessa forma, a percepção da orientação dos membros em relação ao corpo ou a referências externas parece estar relacionada com a detecção da orientação dos autovetores do tensor de inércia que representam a distribuição de massa do segmento corporal.

Reforçando o papel invariante do tensor de inércia, Pagano e Cabe (28) demonstraram que a extração de informação do tensor de inércia independe de outras forças agindo sobre o objeto. Estes autores observaram que embora a manipulação de hastes dentro da água envolvesse uma resistência adicional ao torque gerado pelos participantes, não houve diferença na percepção de comprimento da haste dentro ou fora da água. Neste caso, a percepção do comprimento foi baseada no tensor de inércia, não sendo influenciada pelo torque ou pela densidade do meio no qual o objeto foi manipulado. Além disso, em condições nas quais as mesmas hastes foram exploradas nos planos vertical e horizontal, a força da gravidade e o torque não influenciaram a percepção do comprimento dessas hastes (28). Estes resultados comprovam o papel invariante da inércia rotacional, pois modificações do meio ou do conjunto de forças impostas à unidade mão-objeto não influenciaram a

percepção do comprimento. Portanto, um grande número de evidências comprova que o sistema perceptual háptico é sensível à dinâmica rotacional (41), sendo que os autovalores e autovetores (tensor de inércia) são a base informacional para a percepção de dimensão e orientação de objetos e segmentos corporais respectivamente.

A percepção do comprimento e orientação de objetos e segmentos corporais por meio da percepção baseada em ação muscular tem sido amplamente investigada principalmente em indivíduos adultos. Embora este tipo de percepção háptica seja necessário para que qualquer indivíduo realize suas atividades de forma eficiente, a maioria dos estudos que investigam o desenvolvimento da percepção háptica em crianças avalia somente tarefas como discriminação de dois pontos e estereognosia (discriminação tátil de objetos). Abravanel (42) e Micallef e Way (43) verificaram que o reconhecimento intermodal (visual-háptico) de figuras geométricas emerge aos quatro anos e se consolida aos oito anos de idade. Por outro lado, a discriminação tátil de texturas e tamanhos se desenvolve entre quatro e nove anos (44) e o reconhecimento de orientação espacial se desenvolve entre quatro e seis anos de idade (45). Além disso, Hoop (8, 46) investigou a percepção háptica em crianças com idade pré-escolar usando diferentes tipos de manipulação, tais como transferência de objetos de uma mão para a outra, exploração do objeto com a palma da mão ou com a superfície dos dedos. Este autor observou que os movimentos usados nas manipulações tornaram-se mais minuciosos com a idade, ou seja, crianças mais velhas precisaram de menos exploração tátil para reconhecer a forma de objetos considerados familiares. Em relação ao desenvolvimento das habilidades proprioceptivas em crianças, existem evidências de que as mudanças desenvolvimentais estão relativamente estáveis por volta dos oito anos de idade (47-

49). Estes estudos demonstram, portanto, que habilidades táteis e proprioceptivas parecem estar desenvolvidas a partir dos oito anos de idade. Além disso, observa-se que percepção háptica por meio da exploração tátil do objeto tem sido o foco de várias pesquisas. Entretanto, a percepção tátil de propriedades de objetos pode não informar sobre outras formas de percepção háptica, principalmente aquelas que envolvem a manipulação dinâmica de objetos.

Poucos estudos foram realizados em crianças com o objetivo de avaliar suas habilidades perceptuais hápticas por meio da percepção baseada em ação muscular. Kleveberg e Anderson (50) observaram que crianças de quatro anos de idade, após explorarem uma plataforma inclinável usando uma haste, foram capazes de perceber a possibilidade de ficar de pé na plataforma de acordo com sua inclinação. Em geral, as crianças superestimaram sua habilidade de ficar de pé em superfícies com alta inclinação e foram mais confiantes em seu julgamento através de todas as condições de inclinação da plataforma quando comparadas com adultos. Além disso, Shimisu e Norematsu (51) avaliaram o desenvolvimento da percepção de comprimento de hastes em indivíduos alocados em quatro grupos etários (6 a 12anos; 21 a 25; 31 a 56 e 65 a 83 anos). Em todas as faixas etárias as hastes de maior comprimento foram percebidas como mais longas quando comparadas com hastes mais curtas. No grupo de crianças, houve uma grande variabilidade nos comprimentos percebidos, o que, segundo os autores, sugere que as crianças não basearam seu julgamento perceptual nas propriedades inerciais das hastes. Entretanto como nenhuma comparação entre crianças de 6 a 12 anos foi realizada, este estudo não fornece informações sobre como essa habilidade perceptual difere em crianças de diferentes idades. Portanto, além de existirem poucos estudos que avaliam a percepção baseada em ação muscular em crianças,

não existem evidências sobre a idade na qual a criança desenvolve e consolida a habilidade de perceber propriedades mecânicas de objetos por meio deste tipo de percepção háptica.

Outro ponto ainda pouco explorado em relação à percepção baseada em ação muscular é a influência de condições patológicas nesta habilidade perceptual. Uma vez que a percepção háptica depende da exploração ativa do ambiente para extrair informação para percepção, a presença de restrições de movimento devido a condições patológicas, teoricamente, poderia influenciar a habilidade do indivíduo para detectar informação háptica. Existem poucos estudos sobre a percepção háptica em indivíduos com patologias neurológicas. Estudos de casos foram elaborados para avaliar a percepção háptica em indivíduos adultos com disfunções como acidente vascular cerebral, lesão medular ou neuropatia periférica devido à lesão neural ou diabetes melitus (10, 52). Os resultados desses estudos demonstraram que nesses indivíduos o comprimento percebido aumenta em função do momento de inércia. Além disso, a relação entre essas variáveis apresenta valores de inclinação (slope) próximos ao esperado ($1/3$) para ambos os lados acometido e não acometido. Os autores concluíram, portanto, que a percepção baseada em ação muscular estava preservada bilateralmente nesses pacientes mesmo na presença de restrições significativas de movimento e do comprometimento das sensações cutâneas e táteis (10, 52). O fato de que esses indivíduos adquiriram a lesão neurológica na idade adulta, ou seja, após já terem desenvolvido adequadamente a percepção háptica na infância pode justificar a ausência dos déficits perceptuais hápticos. O mesmo pode não ocorrer na população infantil com patologias desenvolvimentais. Essas crianças não tiveram a oportunidade de explorar o ambiente sem a presença de um déficit motor a priori, o

que, teoricamente, poderia impedir o desenvolvimento apropriado desta habilidade perceptual.

Em crianças com desordens do desenvolvimento, a avaliação clínica é focada principalmente na detecção de déficits motores e uma menor atenção é dada às habilidades perceptuais. Quando o objetivo é avaliar possíveis déficits sensoriais, essas crianças são submetidas a testes sensoriais tais como, estereognosia, senso posicional, grafestesia, discriminação de dois pontos, sensibilidade vibratória e discriminação tátil (53, 54). Neste contexto, existem evidências de que crianças com paralisia cerebral (54, 55) e crianças com síndrome de Down (56) apresentam déficits sensoriais além dos déficits motores e do atraso na aquisição de marcos motores. Estudos com enfoque na percepção visual indicaram que crianças com desordens do desenvolvimento apresentam restrições para detectar informação visual necessária para regular a ação (57- 60). Por exemplo, crianças com síndrome de Down mostraram-se limitadas para ajustar a forma como iam segurar objetos baseado na percepção do tamanho do objeto (61). Além disso, estudos em que as modalidades sensoriais são avaliadas nos lados acometido e não acometido de crianças com hemiplegia espástica têm encontrado resultados contraditórios em relação à presença de déficit sensorial em ambos os lados (62) ou apenas no lado acometido (55). Portanto, existem várias evidências sobre déficits em diferentes modalidades sensoriais / perceptuais em crianças com desordens do desenvolvimento. Entretanto, não foram encontrados estudos sobre limitações na percepção baseada em ação muscular nessas crianças.

Embora a percepção háptica seja necessária para crianças e indivíduos praticarem atividades manipulativas eficientemente (50), pouca atenção clínica ou científica tem sido direcionada à investigação desta habilidade perceptual seja em

crianças com desenvolvimento típico ou com alguma patologia desenvolvimental. O conhecimento sobre as propriedades de objetos e, principalmente, como e para que eles podem ser utilizados parece exercer um papel importante no processo de aprendizado de uma criança. A percepção háptica seria necessária para que qualquer criança realizasse atividades rotineiras, tais como, cuidado pessoal, atividades escolares e atividades recreativas. Portanto, evidências sobre a idade de aquisição dessa habilidade perceptual bem como sobre a influência de patologias adquiridas durante o desenvolvimento na capacidade das crianças de detectarem informação háptica poderão promover um melhor entendimento sobre a funcionalidade dessas crianças em diferentes contextos.

1.1 - OBJETIVOS GERAIS

Investigar a percepção háptica (percepção baseada em ação muscular) em crianças com desenvolvimento típico de diferentes faixas etárias e avaliar o impacto de patologias adquiridas durante o desenvolvimento neste tipo de percepção háptica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

ESTUDO 1:

1) Avaliar a percepção háptica da utilidade funcional de hastes para puxar objetos em crianças com desenvolvimento típico de 4, 6, 8 e 10 anos de idade e comparar a habilidade perceptual háptica das crianças com a de indivíduos adultos.

ESTUDO 2:

1) Avaliar e comparar a percepção háptica em crianças com paralisia cerebral, crianças com síndrome de Down e crianças com desenvolvimento típico por meio de duas tarefas: percepção da utilidade funcional de hastes para puxar objetos e percepção do comprimento de hastes.

2) Comparar a percepção háptica entre membros acometido e não acometido das crianças com paralisia cerebral do tipo hemiplegia espástica.

1.2 – HIPÓTESES

H1: Assim como a aquisição de outras habilidades perceptuais, a percepção háptica em crianças com desenvolvimento típico estará desenvolvida a partir dos oito anos de idade.

H2: Crianças com distúrbios do desenvolvimento (síndrome de Down e paralisia cerebral) apresentarão um desempenho significativamente inferior nas tarefas utilizadas para avaliar percepção háptica quando comparadas as crianças com desenvolvimento típico.

H3: O lado acometido de crianças com hemiplegia espástica apresentará um desempenho nos testes de percepção háptica significativamente inferior ao lado não acometido dessas crianças.

CAPÍTULO 2 - MATERIAIS E MÉTODO

2.1 - ESTUDO 1

2.1.1 - Amostra:

Participaram do primeiro estudo quarenta e oito crianças, de ambos os sexos, divididas em quatro faixas etárias (4, 6, 8 e 10 anos de idade), com uma tolerância de até seis meses acima de cada referida idade e 12 indivíduos adultos estudantes do curso de graduação do curso em fisioterapia (seis homens e seis mulheres) com média de idade 21,3 anos (DP=1,37anos). Um cálculo amostral foi realizado através de um estudo piloto com cinco indivíduos de cada idade (63). Utilizando-se o menor valor de F da análise de variância e considerando-se um poder estatístico de 90% e um nível de significância de 0,05, foi determinado um número de 12 participantes em cada faixa etária.

O principal critério de inclusão para as crianças investigadas no estudo foi apresentar desenvolvimento motor típico para a idade. Para garantir que elas não apresentassem atraso no desenvolvimento motor, os pais ou responsáveis foram questionados sobre a idade na qual a criança adquiriu os principais marcos motores (sentar de forma independente, engatinhar, marcha independente) (64). Foi indagado, ainda, se os pediatras das crianças identificaram qualquer dificuldade das mesmas para realizar as atividades esperadas para idade (65). Além disso, para participarem do estudo, crianças e adultos não poderiam apresentar dor ou qualquer tipo de lesão nos membros superiores. As crianças foram recrutadas através de seus pais ou responsáveis, a partir do grupo de estudantes, profissionais e professores da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da

Universidade Federal de Minas Gerais (EEFTO - UFMG). As avaliações foram realizadas no Laboratório de Desempenho Infantil da EEFTO da UFMG.

Os pais ou responsáveis pelas crianças e os indivíduos adultos foram informados sobre os objetivos e procedimentos do estudo e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice A). Este estudo foi previamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais, parecer - ETIC 155/08 (Anexo A).

2.1.2 - Instrumentação:

Quatro hastes de madeira com mesmo comprimento (57,5 cm), massa (57g) e mesmo diâmetro (1,2cm) foram utilizadas para avaliar a percepção háptica da utilidade de hastes para puxar objetos. Duas hastes eram retas e foram nomeadas como “Reto 1 e Reto 2”. As outras duas hastes eram em forma de L por possuírem um prolongamento distal que permitia que as hastes funcionassem como um gancho. A haste que possuía um prolongamento de 12cm foi denominada haste “Longa” e aquela cujo prolongamento media 6cm foi denominada como “Curta” (Figura 1A). Todas as hastes tinham massas equivalentes. Essa equivalência das massas foi obtida por meio de um material adesivo (durepox) colocado no centro de massa da haste Reto1, na extremidade distal da haste Reto 2 e no centro de massa da haste Curta (Figura 1A), de forma a igualar a massa dessas hastes em relação à massa da haste Longa. Dessa forma, todas as hastes passaram a ter a mesma massa, mas diferentes distribuições de massa e, conseqüentemente, diferentes valores de torque e resistência à rotação (momento de inércia). A haste Reto 1 tinha os menores valores de torque e momento de inércia e a haste Longa, o maior momento de inércia quando comparada às outras hastes. Ambas as hastes em

forma de L possuíam uma assimetria na sua distribuição de massa em relação às hastes retas representada pela orientação do seus autovetores. Por fim, as hastes Reto 2 e Longa apresentaram o mesmo valor de torque, mas eram diferentes em suas propriedades inerciais. Os cálculos das propriedades de cada haste encontram-se no Apêndice C. Essas hastes foram utilizadas para avaliar a percepção háptica junto com um aparato que consistia de uma pequena mesa com uma abertura na tampa e um carrinho cheio de balas que, preso por um fio de nylon a um suporte sob a mesa, poderia ser deslocado por essa abertura em direção ao participante (Figura 1B).

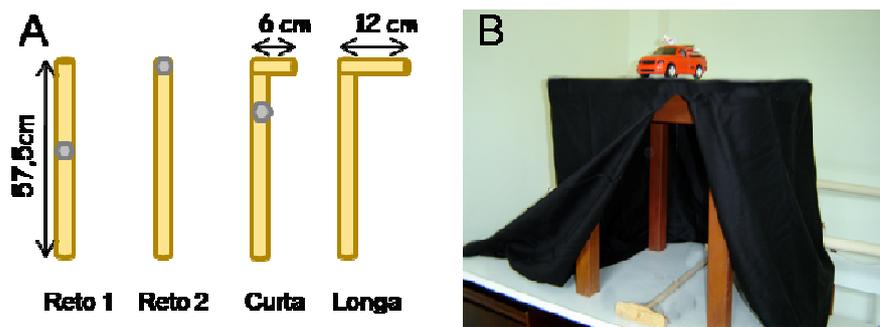


Figura1: A) Hastes: Reto1, Reto2, Curta e Longa. B) Aparato usado na avaliação da percepção háptica

2.1.3 - Procedimento:

Inicialmente, os pais ou responsáveis responderam ao Critério de Classificação Econômica – ABEP 2008 para classificar o nível sócio econômico da família da criança. Em seguida, as hastes foram apresentadas a cada participante, que deveria indicar verbalmente quais hastes poderiam ou não ser usadas para puxar o carrinho preso ao fio de nylon. As hastes retas não poderiam ser utilizadas para esta função, enquanto as hastes em forma de L, por funcionarem como um gancho, poderiam ser usadas para mover o carrinho. Este procedimento foi

necessário para garantir que os participantes, tanto os adultos, quanto as crianças, entendessem a tarefa. Para evitar distrações, a presença de outros objetos e outras crianças foi controlada. Além disso, os participantes fizeram uma prática de como segurar e movimentar as hastes. Cada voluntário tinha que segurar firmemente cada haste de forma que a extremidade proximal da haste ficasse rente à eminência hipotenar da sua mão dominante. As hastes deveriam, então, ser exploradas através dos movimentos ao redor do eixo da articulação do punho.

Na avaliação da percepção háptica, os participantes foram solicitados a explorar as hastes sob a mesa, de forma que a superfície desta e a cortina ao seu redor impediam a visão das hastes. Após a exploração, eles deveriam indicar se a haste manipulada era ou não apropriada para puxar o carrinho sobre a mesa. Embora houvesse quatro hastes, a resposta era dicotômica: sim ou não, de acordo com a utilidade funcional das hastes. Um *feedback* imediato era dado após cada julgamento. Os participantes foram instruídos a manipular as hastes apenas através dos movimentos da articulação do punho. Além disso, foi solicitado que evitassem o contato das hastes com a mesa e a cortina para impedir que outras informações como, por exemplo, auditivas e táteis, auxiliassem no julgamento. Um examinador permaneceu ao lado de cada participante para garantir que as instruções fossem atendidas. Quando houve movimento em outra articulação ou o contato da haste com alguma superfície, a repetição foi descartada e a mesma haste foi manipulada em outro momento. Após o julgamento, foi permitido a cada participante completar a tarefa de puxar o carrinho e pegar as balas que estavam sobre este. Cada uma das quatro hastes foi apresentada três vezes, totalizando 12 repetições. A ordem de apresentação das hastes foi aleatorizada. O número de respostas corretas foi dividido pelo número de vezes que cada haste foi apresentada (três repetições) para

se obter o índice de concordância de cada indivíduo na avaliação da percepção háptica.

2.1.4 - Análise Estatística

O teste Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar se a variável dependente (índice de concordância) apresentava distribuição normal. Uma vez que esta variável se apresentou normalmente distribuída em cada um dos grupos ($p > 0,05$) foi utilizada uma análise de variância (ANOVA) mista com um fator grupo (Idades: 4, 6, 8, 10 anos e adultos) e um nível de medida repetida (Hastes: Reto 1, Reto 2, Curta e Longa). Esta análise testou os efeitos principais (idade e haste) bem como suas interações a um nível de significância de 0,05. Análises de contraste foram utilizadas para localizar os pares em que houve diferença significativa e correções de Bonferroni foram usadas para ajustar o nível de significância de acordo como número de contrastes realizados.

2.2 – MATERIAIS E MÉTODO - ESTUDO 2

2.2.1 - Amostra:

Participaram do estudo 12 crianças com diagnóstico clínico de paralisia cerebral (Grupo PC), 10 crianças com diagnóstico de síndrome de Down (Grupo SD) e 14 crianças com desenvolvimento típico (Grupo DT). As crianças foram do sexo masculino ou feminino e tinham idade variando de 8 a 11 anos. Os critérios de inclusão para participação no estudo foram: diagnóstico clínico de Trissomia do cromossomo 21 para crianças do grupo SD, diagnóstico clínico de hemiplegia espástica e classificação no nível I do Sistema de Classificação de Habilidades Manuais para crianças do grupo PC e ausência de história de qualquer patologia nas crianças alocadas no grupo DT. Além disso, todas as crianças estavam frequentando escola e as selecionadas para os grupos com patologia estavam em tratamento fisioterápico. Foi considerado como critério de exclusão a incapacidade da criança para entender as instruções e as tarefas do estudo. As crianças dos grupos PC e SD foram recrutadas através de instituições de reabilitação (Associação Mineira de Reabilitação, Associação dos Pais e Amigos dos Excepcionais e Núcleo Assistencial Caminhos para Jesus), de escolas (Escola Oficina Sofia Antipoff) e por meio de indicação de fisioterapeutas que atuam na área de desenvolvimento infantil. Os pais ou responsáveis pelas crianças foram devidamente informados sobre a proposta do estudo e seus procedimentos e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice B). O Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais concedeu aprovação para este estudo sob o parecer - ETIC 155/08.

2.2.2 - Instrumentação:

Com o objetivo de documentar a função cognitiva dos participantes do estudo foi utilizado o *Kaufman Brief Intelligence Test* (KBIT2) (66). Este teste avalia a função cognitiva através de domínios verbais e não verbais. A presença desses dois domínios produz um escore de inteligência que abrange dois aspectos distintos da habilidade intelectual. O domínio verbal contém dois subtestes denominados Conhecimento Verbal e Charadas. O subteste Conhecimento Verbal é composto de 60 itens de vocabulário e informações gerais e o subteste Charadas possui 48 itens que medem a compreensão verbal, raciocínio e conhecimento de vocabulário. O domínio não verbal possui apenas um subteste o qual inclui 46 itens que requerem raciocínio lógico para serem respondidos. O escore bruto de cada domínio é calculado e convertido para um escore padronizado por idade. Esses escores padronizados podem ser analisados separadamente ou utilizados para o cálculo do escore de inteligência. O KBIT2 é válido para ser utilizado em indivíduos de 4 a 90 anos idade. A confiabilidade teste-reteste para o domínio Verbal variou de 0,86 a 0,93 e para o domínio não verbal variou de 0,76 a 0,89. O erro padrão da medida para o escore verbal variou de 4 a 5 pontos e para o não-verbal variou de 4 a 7 pontos (66). No presente estudo, apenas os escores padronizados referentes ao Domínio Verbal. (Anexo B) foram utilizados para documentar a função cognitiva das crianças avaliadas.

O Sistema de Classificação de Habilidade Manual (MACS) (Anexo C) foi utilizado para classificar a habilidade manual das crianças com Paralisia Cerebral ao manusear objetos em atividades de vida diária (67). O objetivo do MACS é determinar o nível que mais representa o desempenho habitual da criança em casa, na escola e na comunidade, utilizando objetos relevantes e apropriados para cada

idade. Este instrumento se caracteriza por uma escala ordinal de cinco níveis que informa o grau de funcionalidade manual de indivíduos com idade entre 4 – 18 anos. São classificadas no nível I crianças que conseguem manipular objetos sem dificuldade; no Nível II crianças que conseguem manusear objetos, porém com dificuldade; e no Nível III aquelas crianças que necessitam de ajuda para manipular os objetos. No Nível IV são classificadas aquelas crianças cujo desempenho é limitado e precisam de supervisão contínua e no Nível V crianças cujas habilidades manuais estão severamente comprometidas, necessitando de ajuda total para manusear os objetos. O MACS possui validade e alta confiabilidade (ICC de 0.97) demonstrados na literatura (67). Apenas crianças com paralisia cerebral classificadas no nível I foram incluídas no estudo.

A percepção háptica foi avaliada por meio de duas tarefas: percepção háptica da utilidade de hastes para puxar objetos (Tarefa 1) e percepção háptica do comprimento de hastes (Tarefa 2). Para realização da tarefa 1 foram utilizadas três hastes de madeira, sendo que duas eram em forma de L (Longa e Curta) e uma reta. As hastes tinham as mesmas especificações das hastes do estudo 1 (comprimento total= 57,5 cm; massa=57 g; raio=0,6 cm; prolongamentos das hastes Longa e Curta de 12 e 6 cm, respectivamente). Entretanto, a única diferença em relação ao estudo 1 é que na haste Curta o material adesivo utilizado para se obter a equivalência de massa foi colocado na extremidade distal da haste. Este procedimento permitiu igualar os valores de torque das três hastes, embora as propriedades inerciais de cada haste ainda permanecessem diferentes. Os cálculos de torque e das propriedades inerciais de cada haste encontram-se detalhados no apêndice C.

Uma haste de madeira de 30 cm de comprimento (massa=16,43g), uma de 50

cm (massa=38,98g) e um cilindro de aço inox de 1,05cm (massa=22,23g) foram utilizados na tarefa 2: avaliação da percepção de comprimento. Para manipular a distribuição de massa das hastes, o cilindro foi posicionado a distâncias correspondentes a 50%, 70% e 90% do comprimento total de cada haste. Um aparato com um marcador móvel colocado sobre uma maca foi utilizado para que os participantes marcassem o comprimento percebido de cada haste. Este aparato disponibilizava informação métrica apenas para o examinador.

2.2.3 - Procedimento:

Inicialmente, para avaliar a habilidade manual (MACS) das crianças do Grupo PC, estas foram solicitadas a realizar três tarefas típicas para sua faixa etária. Além disso, todas as crianças foram submetidas à avaliação da função cognitiva por meio do KBIT2.

A avaliação da percepção da utilidade das hastes para a ação de puxar foi realizada de forma similar a do estudo 1. Primeiramente, para garantir o entendimento da tarefa, a criança tinha que diferenciar visualmente as três hastes e indicar que as hastes em formato de L possuíam uma espécie de gancho e, portanto, serviriam para puxar um objeto que estava sobre a mesa e que a haste reta não serviria para este fim. Sete crianças com diagnóstico de Síndrome de Down e uma criança com paralisia cerebral foram excluídas do estudo por não terem entendido a tarefa.

Após a constatação de que a criança havia entendido a tarefa, foi realizado um treinamento de como segurar e manipular cada uma das hastes. Em seguida, a criança foi posicionada de pé atrás de um biombo com o seu braço passando por uma abertura, de forma que o biombo ocluía a visão das hastes e a criança tinha

espaço livre para fazer os movimentos exploratórios (Figura 2). As crianças foram instruídas a não fazer contato da haste com o biombo para evitar que informações provenientes desse contato auxiliassem no julgamento. Após a exploração, a criança indicava verbalmente se a haste manipulada era ou não apropriada para puxar o objeto sobre a mesa. Um *feedback* imediato era dado após cada repetição. A ordem de apresentação das hastes foi aleatorizada. Cada uma das três hastes foi apresentada quatro vezes, totalizando 12 repetições por criança. Um índice de concordância foi calculado considerando-se a razão do número de respostas corretas pelo número de vezes em que a haste foi manipulada (quatro repetições). Este teste foi aplicado em dois dias distintos. No primeiro dia, o teste foi realizado apenas como uma forma de treinamento da tarefa. Apenas os índices de concordância obtidos no segundo dia foram considerados para análise. O intervalo entre o primeiro e o segundo dia de coleta foi de no máximo uma semana para cada criança.

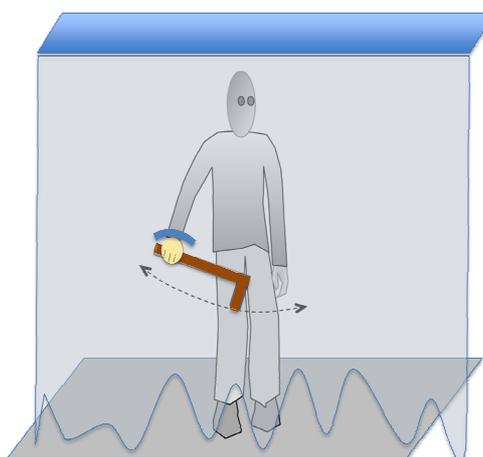


Figura 2: Aparato e posicionamento das crianças durante a tarefa 1: percepção da utilidade de hastes para puxar um objeto. As crianças manipulavam a haste com a visão ocluída pela cortina.

No segundo dia de coleta, foi realizada também a avaliação da percepção háptica do comprimento de hastes (tarefa 2). Nesta tarefa, as crianças estavam sentadas em uma cadeira que foi posicionada em uma das extremidades de uma maca. As crianças foram instruídas a segurar as hastes firmemente, manipulá-las sob a maca e a mover o marcador para a posição na qual elas julgavam estar a ponta final da haste explorada (Figura 3). A maca permitiu que o marcador fosse posicionado paralelamente à orientação da haste, além de impedir a visualização da mesma. Antes de cada repetição, o marcador foi movido para a posição inicial que coincidia com o eixo articular do punho da criança. Inicialmente, o examinador fez uma demonstração para que as crianças pudessem entender o teste. Cada criança realizou um total de 18 repetições considerando as duas hastes, as três condições de manipulação da distribuição de massa e as três repetições de cada condição. A ordem de apresentação das hastes com as respectivas condições de massa foi totalmente aleatorizada. Não foi dado nenhum *feedback* durante o teste.

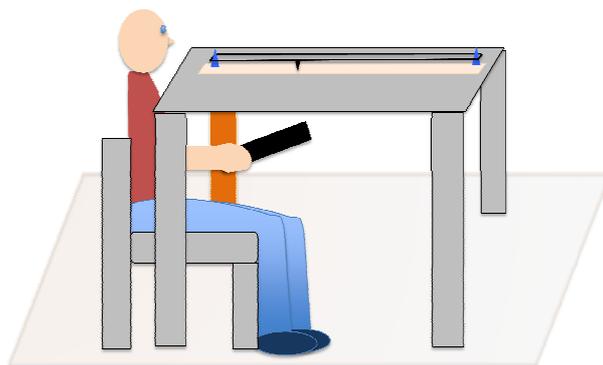


Figura 3: Aparato e posicionamento das crianças durante a tarefa2: percepção do comprimento das hastes. As crianças manipulavam a haste sob a mesa e registravam o comprimento percebido no marcador que estava sobre a mesa.

Ambas as tarefas para avaliar a percepção háptica foram realizadas apenas no lado dominante nas crianças do grupo SD e DT e bilateralmente nas crianças do grupo PC para permitir a comparação entre lado acometido e não-acometido neste grupo. Um intervalo de cinco minutos foi dado entre as tarefas. Quando a criança manifestava cansaço, outros intervalos de descanso foram permitidos.

2.2.4 - Redução dos Dados

Os momentos e produtos de inércia (tensor de inércia) de cada haste nas suas respectivas condições de distribuição de massa utilizadas na tarefa 2 foram calculados de acordo com as equações propostas por Fitzpatrick et al. (26). Para estes cálculos, a origem do sistema de coordenadas (ponto de rotação) foi estabelecido sobre a interlinha articular do punho. O eixo Y foi alinhado com o eixo longitudinal da haste, o eixo Z foi determinado como sendo vertical e o eixo X látero-lateral. O Teorema dos Eixos Paralelos (22) foi utilizado para transformar os momentos de inércia de cada haste sobre seus respectivos centros de massa em momentos de inércia sobre o eixo de rotação na articulação do punho. A diagonalização do tensor foi realizada para se obter os principais momentos de inércia (autovalores: I_1 , I_2 , I_3) e suas respectivas orientações ou eixos principais de inércia (autovetores: e_1 , e_2 , e_3). Os cálculos detalhados encontram-se no Apêndice 4.

2.2.5 - Análise Estatística

Medidas de tendência central (médias e erros padrão) e de frequência foram utilizadas para descrever a amostra do estudo em relação à idade, sexo, peso, altura e escore no KBIT2.

O resultado do teste Shapiro-Wilk demonstrou que as variáveis índice de concordância e comprimento percebido apresentaram distribuição normal nos três grupos avaliados ($p > 0,05$). Uma análise de variância (ANOVA) mista com um fator grupo (DT, SD e PC – apenas lado acometido) e um nível de medida repetida (Hastes: Reta, Curta e Longa) foi utilizada para testar diferenças nas médias dos índices de concordância obtidos na tarefa 1. Para comparar os índices de concordância obtidos no lado acometido e lado não acometido das crianças do grupo PC foi utilizada uma ANOVA com dois níveis de medida repetida (Hastes: Reta, Curta e Longa; e Lado: acometido e não acometido). Quando diferenças significativas foram observadas nas ANOVAs, considerando-se um nível de significância de 0,05, contrastes pré-planejados foram realizados para identificar os pares de médias entre as quais foram observadas diferenças.

Os julgamentos do comprimento percebido das hastes obtidos na tarefa 2 foram analisados por uma ANOVA com um fator grupo (DT, PC, SD) e dois níveis de medida repetida (Comprimento real da haste: 30 e 50 cm e Posição da massa: 50, 70 e 90%). Esta análise permitiu testar se o comprimento das hastes foi percebido diferentemente pelos grupos. Uma ANOVA com três níveis de medida repetida (Comprimento real das hastes; Posição da massa; e Lado) foi utilizada para comparar o julgamento do comprimento percebido das hastes nos lados acometido e não acometido das crianças com paralisia cerebral. Contrastos pré-planejados foram realizados para localizar possíveis diferenças significativas encontradas nas ANOVAs.

Modelos de regressão hierárquica (Multilevel Models ou Mixed Models) (68) foram utilizados para verificar se a variável inercial (I1) foi um preditor significativo da variável dependente comprimento percebido e se a relação entre essas variáveis foi

diferente nos diferentes grupos avaliados. Especificamente, esta análise permitiu avaliar se os interceptos e slopes da relação entre as variáveis I_1 e comprimento percebido diferiram significativamente entre as crianças e se o fator grupo explicaria essa diferença. Esses modelos de regressão são elaborados com dois níveis. De forma geral, o Nível I descreve o desempenho de cada indivíduo nas suas observações (medidas repetidas), determinando os parâmetros (intercepto e slope) para cada indivíduo. Portanto, o Nível I descreve a variabilidade intra-indivíduo. O Nível II descreve o desvio de cada indivíduo em relação à média do grupo, informando, portanto, sobre a variabilidade inter-indivíduos.

Inicialmente, para a utilização do modelo de Regressão Hierárquica foi realizada uma transformação logarítmica das variáveis com o objetivo de tornar linear a relação entre as variáveis métrica e inercial. No presente estudo, foram elaborados inicialmente 2 modelos de regressão para análise dos dados. No primeiro modelo, o Nível I teve como variável desfecho o comprimento percebido e como preditor a variável I_1 . O Nível 2 considerou como variáveis desfecho os parâmetros individuais (interceptos e slopes):

Modelo1 - Nível 1:

$$\text{LogCp}_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}(\text{LogI}_1)_{ij} + e_{0ij} \quad \text{Equação 1}$$

onde LogCp_{ij} é o valor do comprimento percebido do participante i na condição j , β_{0i} é o intercepto do participante i ; β_{1i} é o coeficiente da slope da variável LogI_1 do participante i ; e_{0ij} é o desvio do comprimento percebido do participante i na condição j em relação a sua reta predita pela equação. Neste modelo, o coeficiente da slope indica a taxa de mudança na percepção de comprimento em função de I_1 e a variância do resíduo (e_{0ij}) representa a variabilidade intra-indivíduo.

Modelo 1 – Nível 2:

$$\beta_{0i} = \beta_0 + \mu_{0i} \quad \text{Equação 2}$$

$$\beta_{1i} = \beta_1 + \mu_{1i} \quad \text{Equação 3}$$

onde β_0 e β_1 são respectivamente as médias dos interceptos e coeficientes das slopes de $\text{Log}I_1$ e representam os efeitos fixos (*fixed-effects*) do modelo ; μ_{0i} é o desvio do intercepto e μ_{1i} é o desvio do coeficiente da slope de $\text{Log}I_1$ do participante i em relação à média da amostra. Essas variâncias do resíduo são consideradas os efeitos aleatórios (*random-effects*) do modelo e representam a variabilidade inter-indivíduos. Entretanto, devido ao número restrito de graus de liberdade, a variância do intercepto não foi estimada no nível 2 do modelo 1. Então, na equação 2, o intercepto de cada participante (β_{0i}) foi considerado como a média dos interceptos (β_0) sem estimativa de sua variância.

Um segundo modelo de regressão hierárquica foi elaborado para verificar se o fator grupo modificou a relação existente entre I_1 e comprimento percebido. A equação para o modelo 2, contendo os níveis 1 e 2 é indicada abaixo:

Model 2:

$$\text{Log}Lp_{ij} = \beta_0 + \beta_{01}(\text{Group})_{ij} + \beta_1(\text{Log}I)_{ij} + \beta_{11}(\text{Log}I_{ij} * \text{Group}_{ij}) + \mu_{1i}(\text{Log}I)_{ij} + e_{0ij}$$

Equação 4

onde β_{01} e β_{11} representam os efeitos fixos do fator grupo nos interceptos e slopes respectivamente.

Dois outros modelos de regressão hierárquica, similares aos descritos anteriormente, foram elaborados para verificar o efeito do fator lado (acometido e não acometido) das crianças do grupo PC na relação entre I_1 e comprimento percebido.

Análises de Regressão Linear Simples foram utilizadas para representar graficamente o escalonamento entre comprimento percebido e I_1 para cada grupo.

CAPÍTULO 3 – ARTIGOS

3.1 – ARTIGO 1

Haptic Perception in Typically Developing Children

Juliana M. Ocarino¹, Sergio T. Fonseca², Gabriela G.P. Gonçalves³, Thales R. Souza²
and Marisa C. Mancini²

1- Centro Universitário de Belo Horizonte, Federal University of Minas Gerais

2- Universidade Federal de Minas Gerais

3- Núcleo de Integração das Ciências do Esporte – Minas Tennis Clube

Corresponding author:

Sergio T. Fonseca

School of Physical Education, Physical Therapy and Occupational Therapy

Physical Therapy Department

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Avenida Antônio Carlos - 6627

Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil

Zip Code: 31270-901

Phone number: 003134094782

e-mail: sfonseca@pib.com.br

Abstract

The development of haptic perception has not received the same attention as motor development. Haptic perception of object properties was assessed in forty-eight children divided into four age groups (4, 6, 8, and 10 years old) and twelve adults. Four wooden rods (two straight and two L-shaped) with mass equivalence but different moments of inertia were wielded by subjects who indicated if the rod could be used to pull a toy truck, which was attached to a string. There was a significant difference in judgment accuracy between ages and rods, demonstrating developmental changes in ability to perceive inertial properties of the rods. The observed differences are discussed with reference to perceptual learning perspective.

PsycINFO Classification: 2320; 2820

Keywords: Haptic perception; Moment of inertia; Perceptual-motor development;

1- Introduction

Motor skill acquisition has been the focus of scientific investigations on child development (Adolph & Berger, 2006). Most researches on development have focused on normative descriptions of motor milestones and have offered different explanations about movement control and coordination according to biomechanics (Schneider, Zernicke, Ulrich, Jensen, & Thelen, 1990; Zernicke & Schneider, 1993), action-perception cycles (Adolph, Eppler, & Gibson, 1993; Gibson et al., 1987; Gibson & Walker, 1984), neuromuscular maturation (McGraw, 1945) or dynamical systems perspectives (Goldfield, Kay, & Warren, 1993; Thelen, 1989; Thelen, Kelso, & Fogel, 1987). On the other hand, perceptual skill acquisition in childhood has not been received the same attention by scientific investigations. In fact, perceptual development has been studied mainly under the paradigm of the use of visual information to guide adaptive behaviors (Adolph et al., 1993; Gibson et al., 1987; Gibson & Walker, 1984). However, the accomplishment of some activities involves not only visual perception, but also haptic perception.

Haptic perception is defined as the capability to perceive properties of objects such as weight, geometric shape, length and its orientation in space by means of the body (Gibson, 1966). Haptic perception in children has been traditionally investigated under the experimental paradigm of two-point discrimination threshold and tactile exploration of the full extension of an object in order to recognize its dimensions, texture and shape (stereognosis) in the absence of vision (Hoop, 1971; Streri, 1998; Striano & Bushnell, 2005). This type of haptic perception of object properties is related to cutaneous sensations involved in tactile exploration. However, the perception of geometrical and mechanical properties of an object and its orientation can be performed by holding one part of the object and actively wielding it (Carello & Turvey, 2000). This object exploration involves movements of the

body mechanical lever system with consequent deformation of tissues and receptors. Such deformation occurs according to physical laws and provides the information necessary to perception of objects and limbs properties (Carello & Turvey, 2000).

The perception of properties of objects and body segments through exploration that involves joint motions and muscular effort is known in the literature as dynamic touch or muscle-based perception (Carello, Silva, Kinsella-Shaw, & Turvey, 2008). This type of haptic perception is a common form of perception necessary to the adaptability of an individual in different contexts (Berg & Mark, 2005; Kinsella-Shaw & Turvey, 1992; van de Langenberg, Kingma, & Beek, 2006). The accomplishment of several daily activities involves wielding different types of objects and tools. Such activities can be performed proficiently without vision through perception of object properties, such as length, weight and orientation of the object relative to the hand or to space (Kingma, van de Langenberg, & Beek, 2004; van de Langenberg et al., 2006). There is evidence that the inertial properties of objects and limbs are mechanical variables that inform about length and orientation (Cooper, Carello, & Turvey, 2000; Pagano & Cabe, 2003; Pagano, Garrett, & Turvey, 1996; Solomon, Turvey, & Burton, 1989). These inertial properties are represented by the inertia tensor, which quantifies the object's resistance against angular acceleration in different directions (Carello & Turvey, 2000). The object's resistance to rotation depends on the mass and its distribution (distance between center of mass and point of rotation) (Winter, 1990). Turvey et al. (1992) demonstrated that adult individuals, when manipulating L-shaped rods without visual cues, were capable of identifying which direction the branch was pointing. (Turvey, Burton, Pagano, Solomon, & Runeson, 1992). Several experiments (Cooper et al., 2000; Garrett, Pagano, Austin, & Turvey, 1998; Turvey et al., 1992) demonstrated that during the exploration of objects or body segments by means of joint motions individuals exploit the rotational dynamics to perceive properties that are relevant to the task or action.

The capability to perceive dimensions and the orientation of objects or body segments by means of muscle-based perception has been mainly evaluated in adult individuals (Carello & Turvey, 2000; Cooper et al., 2000; Pagano & Cabe, 2003; Solomon & Turvey, 1988). Although perception of the properties necessary for an individual to perform daily activities efficiently involves the exploration of objects and body segments through joint motions, most of studies that investigated haptic perception in children assessed only tactile tasks such as two point discrimination or stereognosis (Bushnell & Baxt, 1999; Derevensky, 1979). Abravanel (1972) and Micallef and Way (1979) verified that intermodal recognition (visual-haptic) of geometric forms emerges at the age of 4 and consolidates when children are 8 years old (Abravanel, 1972; Micallef & Way, 1979). Tactile discrimination of object dimensions and texture is developed between the ages of 4 and 9 (Miller, 1986). In addition, Hoop (1971) evaluated the haptic perception of preschool children using different kinds of tactile manipulations. Results indicated that older children needed less tactile exploration to recognize common objects (Hoop, 1971).

A few studies were developed in children with the objective of evaluating their non-tactile haptic capabilities. Klevberg and Anderson (2002) observed that four year-old children, after exploring a slanted platform with a hand-held rod without vision, perceived slopes that allowed upright stance. In general, children overestimated their ability to stand on steeper slopes and were more confident in their judgment across all slopes when compared to adult individuals (Klevberg & Anderson, 2002). In addition, Shimizu and Norimatsu (2005) evaluated haptic perception in four age groups (6 to 12; 21 to 25; 31 to 56 and 65 to 83 years) with a task of rod length perception. In this study, longer rods were perceived as longer in comparison to shorter rods in all age groups. However, there was a large variability in children's perception. Such variability, according to the authors, suggests that children did not rely on the inertial properties of objects (Shimizu & Norimatsu, 2005). Although the

development of haptic perception through tactile exploration has been the target of much research, the literature related to the development of the muscle-based perception is scarce. The investigation of the development of this type of haptic perception can increase the understanding on children functionality and tool use. Therefore, the objective of this study was to examine haptic perception (muscle-based perception) in typically developing children at different ages and to compare children's to adult's perceptual capability.

2. Method

2.1 Participants:

Forty-eight children, divided into four age groups (4, 6, 8, and 10 years, with 12 children in each group), were selected by convenience to participate in the study. Characteristics related to sex and family's social economic status are presented in table 1. Only children with normal motor development were included in the study. To guarantee that the children did not have delay in motor development, the parents or guardians were asked about the age in which the child acquired major motor milestones, such as sitting independently, crawling, walking without support (Piper, Pinnell, Darrah, Maguire, & Byrne, 1992) and inquired whether visits to the pediatrician identified any problem in performing expected age activities (Gesell, 1966). In addition, 12 undergraduate students (6 males and 6 females) with a mean age of 21.3 years ($SD= 1.37$) were also assessed. All adult participants and the children's parents or guardians were informed about the study's purposes and procedures, and signed an informed consent form. The University's Ethics Review Committee approved the study.

Insert Table 1 about here

2.2 Apparatus:

Four different rods with same length, mass and radius (mass = 57g; radius = 0.6cm; length = 57.5cm) were used to evaluate haptic perception. Two of the rods were straight and the other two were L-shaped. The two straight rods were named “Straight 1” and “Straight 2”. The two L-shaped rods had a long or a short distal branch, which allowed them to function as a hook. These rods were named “Long L-shaped” and “Short L-Shaped” (Figure 1A). The mass equivalence between all rods was obtained by placing an epoxy adhesive material on the center of mass of the rod Straight 1, on one end of the rod Straight 2 and on the center of mass of the rod Short L-Shaped. Hence, all rods had equal masses, but different mass distributions and, consequently, different torques and resistances to rotation (moments of inertia). These rods were used to evaluate haptic perception with an apparatus consisting of a toy truck placed on a table with a slot. The truck was filled with candies and attached to the bottom part of the table by a nylon string (Figure 1B).

Insert Figure 1 about here

2.2.1 Calculation of torque and inertial properties of the rods

To characterize the inertial properties of each rod the moments and products of inertia for all rods in the X, Y, and Z axes (tensor of inertia) were computed according to equations proposed by Fitzpatrick et al. (1994). In the present study, the origin of the coordinate system was the wrist joint (rotation point), the Y-axis was aligned with the longitudinal axis of the rod and the X and Z-axes were aligned horizontally and vertically, respectively.

$$I_{xx} = mL^2/12 + m(y^2 + z^2) \quad (1)$$

$$I_{yy} = mr^2/2 + m(x^2 + z^2) \quad (2)$$

$$I_{zz} = mL^2/12 + m(x^2 + y^2) \quad (3)$$

$$I_{xy} = -mxy \quad (4)$$

$$I_{xz} = -mxz \quad (5)$$

$$I_{yz} = -myz \quad (6)$$

Where, I_{xx} , I_{yy} , and I_{zz} are the moments of inertia about the three orthogonal axes (X, Y and Z); I_{xy} , I_{xz} , I_{yz} are the products of inertia in directions perpendicular to these axes; m is the rod mass, r is the rod radius, L is the rod length, and x , y and z are perpendicular distances along the axis. For rods grasped in the children's hand, the perpendicular distance to the x axis is zero and the distances to y and z axes were 0,015m and 0.008m, respectively. The first term in each equation is the moment of inertia about the rod center of mass. The parallel axis theorem (Winter, 1990) was used on the second term of the equation to transform the moments of inertia of each rod about its respective center of mass to moments and products of inertia about the rotation point at the wrist joint. The inertia tensor of the each rod was diagonalized to obtain its principal moments of inertia (eigenvalues: I_1 , I_2 and I_3) and their respective orientations or principal axes of inertia (eigenvectors: e_1 , e_2 and e_3).

The torque of each rod was calculated considering the effect of rod mass (without mass adjustment - M_1) and distance of the rod center of mass to the rotation point (L_1), the effect of branch mass (M_2) and its distance to the rotation point (L_2) and the effect of the adhesive material mass (M_3) and its distance to the rotation point (L_3) according to equation:

$$\text{Torque} = M_1L_1 + M_2L_2 + M_3L_3 \quad (7)$$

The asymmetries of mass distribution presented in the L-shaped rods were specified by the orientation of the third eigenvector (e_3) of the L-shaped rods relative to orientation of the e_3 of the straight rods. The principal moments of inertia values, the torque values and the eigenvector deviation angle for each rod are presented in table 2.

Insert Table 2 about here

The Straight 1 rod had the smallest torque and moment of inertia. The Long L-shaped rod had the largest resistance to rotation compared to the other rods. The Straight 2 rod and the Long L-shaped rod had equal torques; hence, only inertial properties could be used to differentiate these rods. In addition, the eigenvector angle deviation demonstrated the asymmetry of mass distribution of the L shaped rods compared to the straight rods.

2.3 Procedure:

In order to familiarize the participants with the test procedures, the rods were presented to the children and adults, who should indicate the rods that could and could not be used to move the toy truck towards them by pulling the nylon string. The straight rods did not allow pulling the truck and the participants should indicate this verbally. The L-shaped rods allowed pulling the truck and the children and adults should also indicate this verbally. This procedure was necessary to guarantee that the participants understood the task appropriately. To avoid distractions, presence of other objects or other children was controlled. In addition, the children and adults practiced the manipulation of the rods. The proximal end of each rod was placed in the dominant hand of the subject, and they were instructed to grip the rod firmly with the end of the rod flush with the hypothenar eminence of the hand.

The evaluation of haptic perception involved manipulations of the rods under a covered surface (table) that obstructed visualization of the rod. The subjects were asked to wield each rod and report whether or not the rod was appropriate to pull the truck (Figure 2A). Although there were four rods, the answer should be dichotomous, yes or not, according to usefulness of the rod to pull a toy. After their judgment, children and adults were required to attempt to complete the task of pulling (Figure 2B). The participants were instructed to wield the rods only with movements at the wrist joint and to avoid contact of the rods and arms with the table. During the test one examiner stayed close to each participant to guarantee that the instructions were being followed. Immediate feedback concerning the judgment was given to the participant after each trial. Each rod was randomly presented three times, yielding 12 trials per subject. The number of correct answers was divided by three (number of trials of each rod was presented) to obtain the agreement index of each subject in the haptic perception task.

Insert Figure 2 about here

2.4 Data Analyses

The Shapiro-Wilk test was used to verify whether agreement index followed a normal distribution pattern. Since the results showed that the dependent variable was normally distributed in all age groups ($p > 0.05$), an analysis of variance (ANOVA) with one between-subject effect (ages: 4, 6, 8, 10 years and adults) and one within-subject effect (rods: Straight 1, Straight 2, Short and Long) was used to compare the agreement index obtained in the haptic perception evaluation. This statistical procedure allowed to test the effects of age and type of rod (main effects), as well as the effects of the interaction between these variables

(interaction effects) with the alpha level set at 0.05. Contrasts analyses (Rosenthal, Rosnow, & Rubin, 2000) were performed to locate significant differences. Bonferroni corrections were used to adjust the level of significance to the number of focused contrasts.

3. Results

The ANOVA demonstrated a significant difference in the agreement index between ages ($F=7.962$; $p=0.0001$), rods ($F=34.409$; $p=0.0001$) and a significant rods x ages interaction ($F=2.647$; $p=0.0029$).

3.1 Age

Eight contrasts were performed between age groups, and the alpha level was adjusted to 0.0062. Contrasts analyses revealed significant differences only in 4 x 8 years of age ($F=12.439$; $p=0.0009$), 4 x 10 years ($F=24.949$; $p=0.0001$) and 6 x 10 years ($F=8.629$; $p=0.0048$) comparisons. There were no significant differences between other age groups ($p>0.4232$). The absence of differences in the agreement index observed in comparisons of 8 x 10 years of age ($F=2.155$; $p=0.1578$), 8 x adults subjects ($F=0.651$; $p=0.4232$) and 10 x adults subjects ($F=0.437$; $p=0.5113$) suggests that haptic perception is developed at the age of eight. Due to the absence of differences between 6 x 4 years old ($p=0.044$) and 6 x 8 years old ($p=0.1474$) and the significant difference observed between 4 x 8 years old ($p=0.0009$), another contrast analysis was performed to compare the grouped ages of 4 and 6 with grouped ages of 8 and 10 years. This contrast demonstrated that 8 and 10 year-old children have a higher agreement index in haptic perception when compared to younger children ($F=21.119$, $p=0.001$). The means and standard errors of the agreement indexes of each age are illustrated in figure 3.

Insert Figure 3 about here

3.2 Rod

Six contrasts analyses were performed for the main effect rods and the alpha level was set at 0.0083. The contrast analyses demonstrated significant differences in the agreement index at all rods comparisons ($p < 0.0018$), except when rods Straight 1 and Short L-shaped were compared ($F = 1.185$, $p = 0.2779$). According to these results, the highest agreement index in haptic perception was demonstrated for rod Long L-shaped ($p \leq 0.0018$). The rod Straight 2 had the lowest value of agreement index when compared to the other rods ($p = 0.0001$). The means and standard errors are illustrated in figure 4.

Insert Figure 4 about here

3.3 Rod x Age Interaction

According to the graph of interaction between the rods and ages (figure 5) there was a standard behavior of the agreement index in perception of the all rods in different ages, except for the rod Straight 2. There was a gradual increase of the agreement index in the perception of the Straight 1, Short and Long rods until the age of ten and after that the index demonstrated a plateau or a slight decrease. Since the graph analysis demonstrated that all rods, except rod straight 2, followed a patterns similar to what was observed for the main effect rods, the contrast analysis for the interaction effect was performed only for the straight 2 rod. The contrasts demonstrated a significant increase in the agreement index of rod Straight 2 when six and eight year-old children were compared ($F = 11.303$, $p = 0.001$). The decrease in the agreement index observed between the ages of 8 and 10 years was not significant

($F=3.489$, $p=0.0635$). However, adult individuals presented a significant decrease in the agreement index when compared to 8 year-old children ($F=5.902$, $p=0.0162$). There were no significant differences in the agreement index in the 4 x 6 years comparison ($F=1.259$, $p=0.2635$) and when children 10 year-old children and adults were compared ($F=0.315$, $p=0.5752$).

Insert Figure 5 about here

4. Discussion

Perceptual abilities are acquired during children's development to allow their functioning in different contexts. Several studies on the development of haptic perception were carried out with the objective of evaluating children's capability to perceive objects by just using tactile exploration. The present study investigated the development of a more complex type of haptic perceptual ability (muscle based perception), which involves the perception of object's properties by means of joint motions. Children as well as adult individuals perceived the rod's appropriateness for pulling a toy truck, but there were differences in the agreement index of perceptual judgments between ages, rods, as well as interaction across these factors.

Age comparisons results revealed a developmental trend in haptic perception. The contrast analysis by grouped ages demonstrated that older children (8 and 10 years old) had better agreement when compared to younger children (4 and 6 years old), suggesting that the perception of rods' properties seems to be fully developed by eight years of age. Since experience has been shown to influence performance in perceptual/motor tasks, the higher

agreement index observed in older children could be explained by the fact that these children have had more practice in activities that assist to develop their perceptual and motor abilities, especially at school. In this case, performance of school tasks and activities might enable children to refine their action-perception repertoire, as illustrated in our study, by the improved haptic perceptual abilities among school-aged children (from 8 year of age).

The acquisition of the ability to perceive the properties of objects may occur concurrently with the acquisition of other types of haptic perception and motor skills. For example, it has been demonstrated that the recognition of geometric form with tactile exploration is also consolidated at 8 years of age (Abravanel, 1972; Micallef & Way, 1979) . In addition, the developmental trend in haptic perceptual ability observed in the present study is similar to trends observed for some motor skills related to manual function. In general, school-aged children perform repetitive, alternate and sequential movements of the fingers, hand and foot more efficiently when compared to younger children (Largo, Caflisch, Hug, Muggli, Molnar, & Molinari, 2001). Regarding hand movements, performance speed is slower in younger children, but reaches a plateau between 8 and 10 years of age (Largo, Caflisch, Hug, Muggli, Molnar, Molinari et al., 2001; Wolff, Gunnoe, & Cohen, 1983), although more complex movement patterns are developed only by puberty. Adults, for example, are apt to perceive object's properties by means of different types of exploration: tactile, side-to-side, rubbing movements and rotational joint motions. Such ability requires the hands to perform particular manipulations in order to detect the information of the objects' properties (Largo, Fischer, & Rousson, 2003). Therefore, it is possible that children would be able to detect inertial properties of the objects when their manual skills permitted appropriated haptic exploration. In this context, when children acquire more skilled hand and arm movements they are equipped with the apparatus to perceive new properties and new action possibilities, which, then, enable different activities of exploration.

Comparisons among rods revealed high agreement index in the judgment of the Long L-shaped rod, while the Straight 2 rod was associated with more errors in the judgment. The high agreement index observed in the perceptual judgment of the Long L-shaped rod was probably due to the fact that this rod had the greatest moment of inertia and eigenvector deviation related the straight rods. The greater asymmetry of mass distribution and resistance to rotation of the Long L-shaped rod, compared to the other rods, may have facilitated its perception as being adequate to pull the toy truck. Conversely, in comparison to the Long L-shaped rod, the Straight 2 rod had smaller moment of inertia and did not have eigenvector deviation. These two rods, however, had the same torque value. Although rods' torque could not inform about the resistance to rotation and, consequently, the presence or absence of the branch in them, some children seemed to rely on torque to make their judgments about the rod's adequacy to pull objects. In this case, the lower agreement index observed in the perception of the Straight 2 rod indicates that this rod was perceived as being adequate to pull a toy, when in fact it was not. This result suggests that children and adults used torque instead of moment of inertia to base their judgments about the presence of the branch in the rod. As the Straight 2 rod and the Long L-shaped rod had equal torque values, the subjects detect this property and inferred about the presence of branch. According to Hajnal et al. (2006), an individual can perceive a property and subsequently engage in intellectual or inferential process (Hajnal, Grocki, Jacobs, Zaal, & Michaels, 2006). The use of inferential process can occur mainly when individuals detect a variable that does not inform about desirable property (non-specifying variables). In the present study, the perception of a non-specifying variable (torque) and the subsequent reasoning about the presence or not of the branch in the rod can have promoted more errors in perceptual judgment, resulting in low agreement index. On the other hand, when the perception is based on variable that specifies the desirable property (specifying variables) a more accurate judgment can be observed. Jacobs and Michaels (2007)

demonstrated that, before practice, the judgment is often based on non-specifying variables and, after practice with feedback, individuals converge to more useful variables (Jacobs & Michaels, 2007). Perhaps, the participants of the present study (children and adults) might change the variable they rely on to base their judgments after further practicing and experiencing the specific task involved in this study, and thus increase accuracy of perceptual judgments.

The interaction between rods and ages also demonstrate that there are differences in the ability to detect inertial properties of the rods in individuals of different ages. The agreement index gradually increased until ten years of age and, for older individuals, there was a plateau or a slight decrease in agreement index. This behavior was observed for all rods except in rod Straight 2. The significant increase in the agreement index observed in rod Straight 2 among children of six and eight years old is in accordance with the argument of consolidation of haptic perception skills by eight years old. However, there was a clear decrease in agreement index among 10 year-old participants and especially in adults. As discussed before, the Straight 2 rod had the same torque value of the Long L-shaped rod. Due to this similarity, the Straight 2 rod produced more errors in judgment. Since haptic perception is already developed in these specific ages (10 years old and adult individuals), these subjects should be able to detect the inertial properties of the rods and appropriately judge the rod Straight 2 as being inadequate to pull a toy. The poor agreement index observed in these ages suggests that the subjects detect torque and used it to infer about the functional utility of the rod that could only be specified by its moment of inertia. According to Runeson et al. (2000) and Runeson and Anderson (2004), perceptual learning occurs initially by means of an inferential process. This initial phase is followed by a mode transition to direct perception of the properties that inform about functional utility of the objects (Runeson & Andersson, 2004; Runeson, Juslin, & Olsson, 2000). However, the results of the interaction

effects demonstrated that eight years old children perceived the relevant properties necessary for knowing the usefulness of the environment than adults. This evidence suggest that direct perception does not require a previous inferential process, as it seems to be the preferential mode of developmental learning in haptic perception. However, even after the proper development of haptic perceptual abilities, inferential processes can be used to make judgments about the functional utility of the objects. Then, probably due to the use of inferential processes, adults were significantly less accurate than eight years old children.

A limitation of the present study was the lack of recordings of the exploratory movement patterns of children and adults. Since movement plays a major role in the haptic perception of object properties, recordings of the movement patterns of subjects could add information about the development of exploratory behaviors in haptic perception. Although it was observed by the examiner that during the experiment the range and the exploratory movement patterns seemed to be different between children, this difference did not seem to be related to age. Thus, differences in movement patterns could not be used to explain the results obtained in the present study. Another limitation of this study would be the possibility that the complexity of the task and the verbal perceptual judgment requested by the examiner might not be appropriate for younger children. However, children demonstrated no difficulties to understand what was asked of them, and they were able to follow instructions during the familiarization procedure and the haptic perception test.

The perception of the object properties appears to play an important role in children's learning process (Derevensky, 1979), insofar exploration and manipulation of objects allow children to learn about the properties and usefulness of objects and tools. It is clear that in haptic perception movement provides the mean to explore the environment and to learn about its properties. But in general, perceptual assessment or training focuses perception outside of a movement context (Burton, 1990). Therefore, the understanding about haptic perceptual

skill acquisition may help guiding the development and implementation of appropriate training strategies to increase or facilitate haptic perceptual learning in children with typical development or with developmental disorders. In addition, evidence about haptic perception development support the mutuality in the action-perception cycles, as skill acquisition in children should always be analyzed as the emergence of both motor and/or perceptual skills, with one contributing to the improvement of the other, which is possible just through active exploration.

4. Conclusion

The results of the present study indicate that children were able to detect inertial characteristics in order to perceive the objects properties by means of muscle based haptic perception and that this ability is developed by eight years of age. In addition, even when the perceptual ability is developed, individuals may still use inferential process in tasks that involve judgment. The use of inferential processes seems to be more prone to errors than the extraction of relevant variables that supports direct perceptual processes.

5. References

- Abravanel, E. (1972). How children combine vision and touch when perceiving the shape of objects. *Perception & Psychophysics*, 12(2A), 171-175.
- Adolph, K. E., & Berger, S. A. (2006). Motor Development. In *Handbook of Child Psychology: Cognition, Perception, and Language* (6th ed., Vol. 2, pp. 161-213): New York Wiley.
- Adolph, K. E., Eppler, M. A., & Gibson, E. J. (1993). Crawling versus walking infants' perception of affordance for locomotion over sloping surfaces. *Child Development*, 64, 1158-1174.

Berg, W. P., & Mark, L. S. (2005). Information for step length adjustment in running. *Human Movement Science*, 24, 496-531.

Burton, A. W. (1990). Assessing the perceptual-motor interaction in developmentally disabled and nonhandicapped children. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 7, 325-337.

Bushnell, E. W., & Baxt, C. (1999). Children's haptic and cross-modal recognition with familiar and unfamiliar objects. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, 25(6), 1867-1881.

Carello, C., Silva, P. L., Kinsella-Shaw, J. M., & Turvey, M. T. (2008). Muscle-based perception: theory, research and implications for rehabilitation. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 12(5), 339-350.

Carello, C., & Turvey, M. T. (2000). Rotational invariants and dynamic touch. In M. A. Heller (Ed.), *Touch, representation and blindness* (pp. 27-66). New York Oxford University Press.

Cooper, M. M., Carello, C., & Turvey, M. T. (2000). Perceptual independence of whole length, partial length, and hand position in wielding a rod. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(1), 74-85.

Derevensky, J. L. (1979). Relative contributions of active and passive touch to a child's knowledge of physical objects. *Perceptual Motor Skills*, 48(3 Pt 2), 1331-1346.

Fitzpatrick, P., Carello, C., & Turvey, M. T. (1994). Eigenvalues of the inertia tensor and exteroception by the "muscular sense". *Neuroscience*, 60(2), 551-568.

Garrett, S. R., Pagano, C., Austin, G., & Turvey, M. T. (1998). Spatial and physical frames of reference in positioning a limb. *Perception and Psychophysics*, 60(7), 1206-1215.

Gesell, A. L. (1966). *The Child from Five to Ten*: Hamish Hamilton.

Gibson, E. J., Riccio, G., Schmuckler, M. A., Stoffregen, T. A., Rosenberg, D., & Taormina, J. (1987). Detection of the traversability of surfaces by crawling and walking infants. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13(4), 533-544.

Gibson, E. J., & Walker, A. S. (1984). Development of knowledge of visual-tactual affordances of substances. *Child Development*, 55(2), 453-460.

Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin.

Goldfield, E. C., Kay, B. A., & Warren, W. H., Jr. (1993). Infant bouncing: the assembly and tuning of action systems. *Child Development*, 64(4), 1128-1142.

Hajnal, A., Grocki, M., Jacobs, D. M., Zaal, F. T. J. M., & Michaels, C. F. (2006). Mode transition and change in variable use in perceptual learning. *Ecological Psychology*, 18(2), 67-91.

Hoop, N. H. (1971). Haptic perception in preschool children. II. Object manipulation. *American Journal of Occupational Therapy*, 25(8), 415-419.

Jacobs, D. M., & Michaels, C. F. (2007). Direct Learning. *Ecological Psychology*, 19(4), 321-349.

Kingma, I., van de Langenberg, R., & Beek, P. J. (2004). Which mechanical invariants are associated with the perception of length and heaviness of nonvisible handheld rod? Testing the inertia tensor hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30(2), 346-354.

Kinsella-Shaw, J. M., & Turvey, M. T. (1992). Haptic perception of object distance in a single-strand vibratory web. *Perception and Psychophysics*, 52(6), 625-638.

Klevberg, G. L., & Anderson, D. I. (2002). Visual and haptic perception of postural affordances in children and adults. *Human Movement Science*, 21(2), 169-186.

Largo, R. H., Caflisch, J. A., Hug, F., Muggli, K., Molnar, A. A., & Molinari, L. (2001). Neuromotor development from 5 to 18 years. Part 2: associated movements. *Developmental Medicine Child Neurology*, 43(7), 444-453.

Largo, R. H., Caflisch, J. A., Hug, F., Muggli, K., Molnar, A. A., Molinari, L., et al. (2001). Neuromotor development from 5 to 18 years. Part 1: timed performance. *Developmental Medicine Child Neurology*, 43(7), 436-443.

Largo, R. H., Fischer, J. E., & Rousson, V. (2003). Neuromotor development from kindergarten age to adolescence: developmental course and variability. *Swiss Medical Weekly*, 133(13-14), 193-199.

McGraw, M. B. (1945). *The neuromuscular maturation of the human infant*: New York: Columbia University Press.

Micallef, C., & Way, R. B. (1979). Visual dimensional dominance and haptic form recognition. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 7, 21-24.

Miller, S. (1986). Aspects of size, shape and texture in touch: Redundancy and interference in children's discrimination of raised patterns. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 27, 367-381.

Pagano, C. C., & Cabe, P. A. (2003). Constancy in Dynamic Touch: Length Perceived by Dynamic Touch Is Invariant Over Changes in Media. *Ecological Psychology*, 15(1), 1-17.

Pagano, C. C., Garrett, S. R., & Turvey, M. T. (1996). Is limb proprioception a function of the limb's inertia eigenvectors? *Ecological Psychology*, 8(1), 43-69.

Piper, M. C., Pinnell, L. E., Darrah, J., Maguire, T., & Byrne, P. J. (1992). Construction and validation of the Alberta Infant Motor Scale (AIMS). *Canadian Journal of Public Health*, 83 Suppl 2, S46-50.

Rosenthal, R., Rosnow, R. L., & Rubin, D. (2000). *Contrast and Effect Sizes in Behavioral Research*. Cambridge: Cambridge University Press.

Runeson, S., & Andersson, I. E. K. (2004). On two modes of apprehension. *Ecological Psychology*, 16(1), 37-44.

Runeson, S., Juslin, P., & Olsson, H. (2000). Visual perception of dynamic properties: cue heuristics versus direct-perceptual competence. *Psychological Review*, 107(3), 525-555.

Schneider, K., Zernicke, R. F., Ulrich, B. D., Jensen, J. L., & Thelen, E. (1990). Understanding movement control in infants through the analysis of limb intersegmental dynamics. *Journal of Motor Behavior*, 22(4), 493-520.

Shimizu, T., & Norimatsu, H. (2005). Detection of invariants by haptic touch across age groups: rod length perception. *Perceptual Motor Skills*, 100(2), 543-553.

Solomon, H. Y., & Turvey, M. T. (1988). Haptically perceiving the distances reachable with hand-held objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(3), 404-427.

Solomon, H. Y., Turvey, M. T., & Burton, G. (1989). Gravitational and muscular variables in perceiving rod extent by wielding. *Ecological Psychology*, 1(3), 265-300.

Streri, A. (1998). Haptic perception of objects in infancy. *Cognitive Psychology*, 20, 1-23.

Striano, T., & Bushnell, E. W. (2005). Haptic perception of material properties by 3-month-old infants. *Infant Behavior & Development*, 28, 266-289.

Thelen, E. (1989). Self-organization in developmental processes: can systems approach work? In Gunnar, M. Thelen, E. *Systems in Development The Minnesota Symposia on Child Psychology* (Vol. 22, pp. 77-117): Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Thelen, E., Kelso, J. A. S., & Fogel, A. (1987). Self-organizing systems and infant motor development. *Developmental Review*, 7, 39-65.

Turvey, M. T., Burton, G., Pagano, C. C., Solomon, H. Y., & Runeson, S. (1992). Role of the inertia tensor in perceiving object orientation by dynamic touch. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(3), 714-727.

van de Langenberg, R., Kingma, I., & Beek, P. J. (2006). Mechanical invariants are implicated in dynamic touch as a function of their salience in the stimulus flow. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(5), 1093-1106.

Winter, D. A. (1990). Anthropometry. In *Biomechanics and Motor Control of Human Movement* (2nd ed., pp. 51-74). New York: Wiley and Sons, Inc.

Wolff, P. H., Gunnoe, C. E., & Cohen, C. (1983). Associated movements as a measure of developmental age. *Developmental Medicine Child Neurology*, 25(4), 417-429.

Zernicke, R. F., & Schneider, K. (1993). Biomechanics and developmental neuromotor control. *Child Development*, 64(4), 982-1004.

Author Note

Acknowledgements:

We thank Paula Chagas, Daniela Vaz, and Paula Lanna for helpful comments and Marina Brandão, Vanessa Lara, and Viviane Carvalhais for help in data collection.

Table 1: *Sex and social economic level of children in each age group.*

	Age Groups			
	4	6	8	10
Sex*				
Male	8	6	5	7
Female	4	6	7	5
Social Economic Level*				
A1	1	1	0	2
A2	7	7	9	5
B1	3	0	1	2
B2	1	3	1	3
C1	0	1	1	0
C2	0	0	0	0
D	0	0	0	0
E	0	0	0	0

- Numbers indicate frequency of children in each category.
- Social Economic level: the categories were A1 represents the highest social economic level, and E represents the lowest social economic level.

Table 2: Values of three principal moments of inertia or eigenvalues: I_1 , I_2 , I_3 (Kgm^2), torque (Nm) and the deviation of the orientation of the third eigenvector(e_3) of the L-shaped rods related to e_3 of straight rod (degrees).

Rods	I_1	I_2	I_3	Torque	e_3 deviation
Straight 1	0.006911	0.006911	0.000002	0.01659	0
Straight 2	0.007595	0.007594	0.000002	0.01997	0
Short	0.009198	0.009182	0.000018	0.01845	1.3
Long	0.009796	0.009699	0.000099	0.01997	5.1

Figure Captions

Figure 1: A: Four rods: Straight 1, Straight 2, Short L - shaped and Long L-shaped with total length and length of the distal branch in the L shaped rods. B: Apparatus used to evaluate haptic perception.

Figure 2: A and B: Haptic perception evaluation procedure.

Figure 3: Means and standard errors of agreement index for each age.

Figure 4: Means and standard errors of agreement index obtained for each rod.

Figure 5: Means and standard errors of agreement index in rods x age interaction analyses.

Figure 1

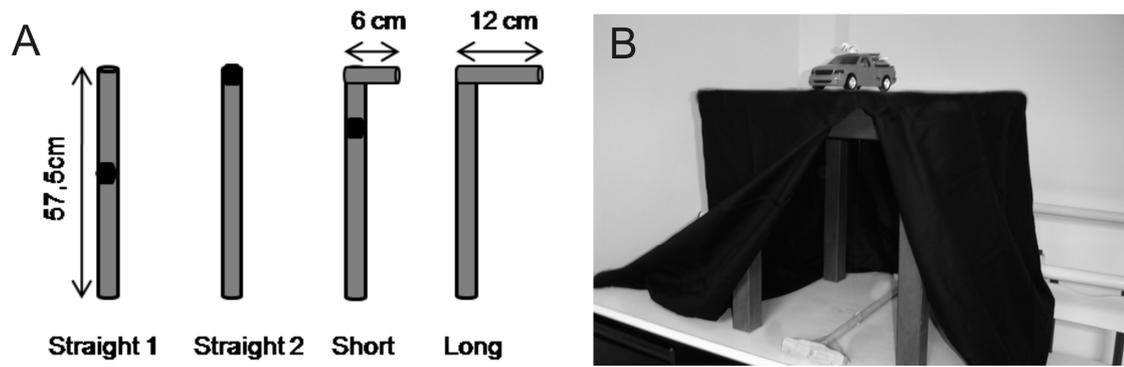


Figure 2

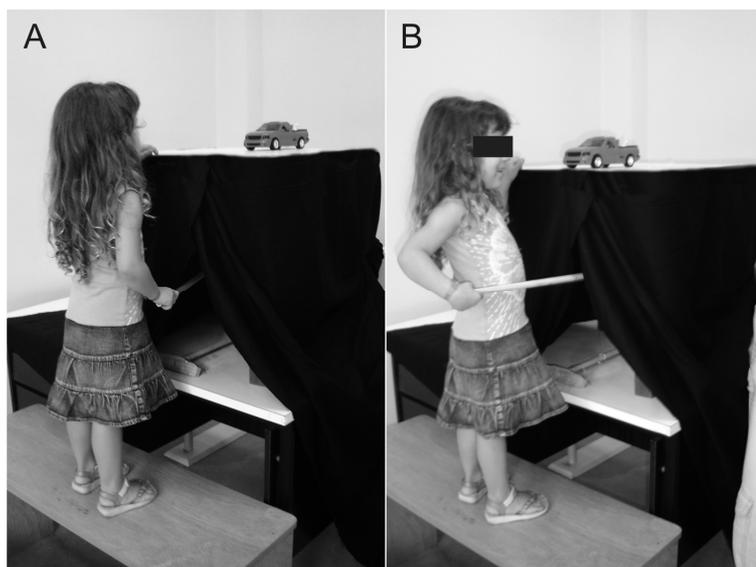


Figure 3

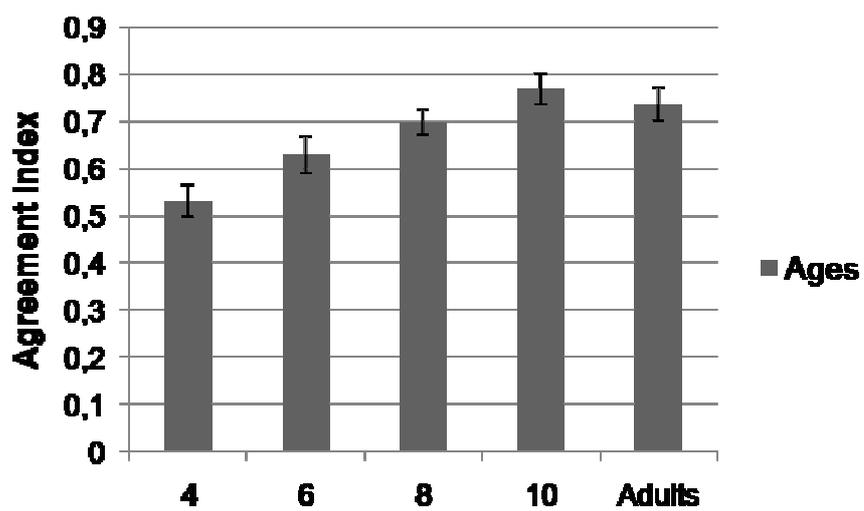


Figure 4

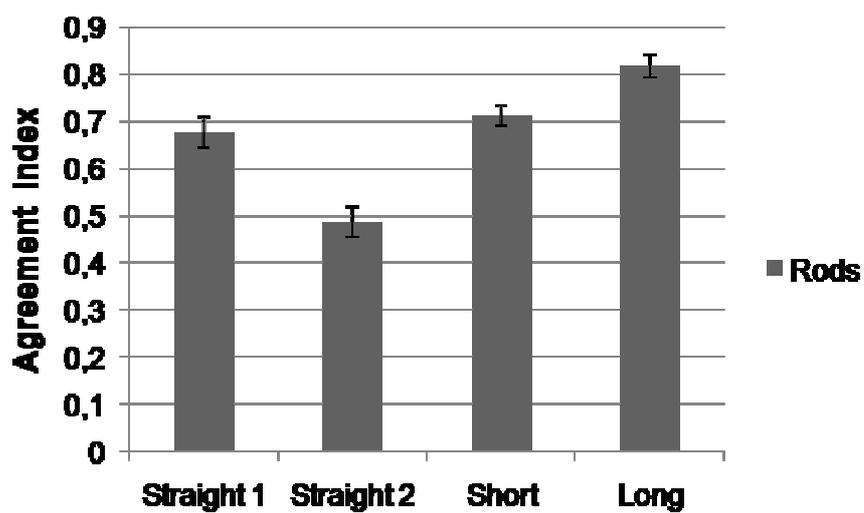
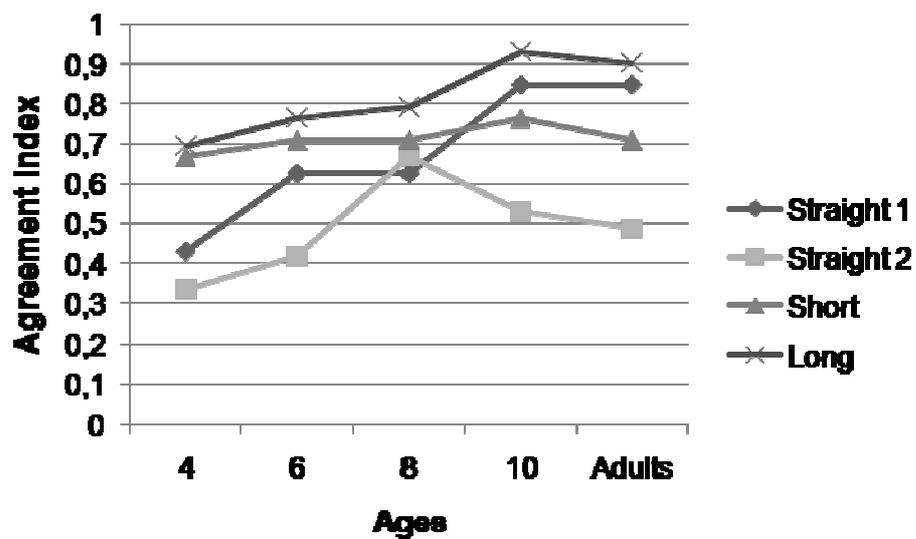


Figure 5



3.2 – ARTIGO 2**Haptic Perception in Children with Typical Development and Children with
Developmental Disorders**

Juliana M. Ocarino ^{a,b}, Sergio T. Fonseca ^a, Gabriela G.P. Gonçalves ^c, Thales R.

Souza ^a, Paula, L.P. Silva ^a and Marisa C. Mancini ^a

^a *Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil*

^b *Centro Universitário de Belo Horizonte, MG, Brazil*

^c *Núcleo de Integração das Ciências do Esporte – Minas Tennis Clube, Brazil*

Number of pages: 35

Number of figures and tables: 8

Corresponding author:

Sergio T. Fonseca
School of Physical Education, Physical Therapy and Occupational Therapy
Physical Therapy Department
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Avenida Antônio Carlos - 6627
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil
Zip Code: 31270-901
Phone number: 003134094782
e-mail: sfonseca@pib.com.br

Acknowledgements:

The authors thank the Rehabilitation Centers: AMR, APAE-BH and Núcleo Assistencial Caminhos para Jesus for their support and Bruno Paes for help in data collection.

Abstract

The ability to haptically perceive properties of objects enables individuals to perform many daily activities. Once haptic perception involves active exploration of the properties of objects, the presence of movement impairments may influence the capability of individuals to detect relevant information for perception. The present study assessed haptic perception (muscle based perception) in fourteen children with typical development, ten children with Down syndrome and twelve children with cerebral palsy. Two tasks were used to assess the haptic perceptual capability of these children: perception of usefulness of rods to pull objects and the perception of rods' length. Data analyses indicated that children with developmental disorders had lower agreement index in perceiving the usefulness of the rods. Multilevel regression models demonstrated significant between-subject variability ($p < 0.0001$). Part of this variance was explained by group. In the group of children with typical development the largest principal moment of inertia was a significant predictor of perceived length ($p < 0.0001$). The same did not occur in children with developmental disorders ($p > 0.05$). These results suggest that children with developmental disorders, compared to typical children, are not fully capable of perceiving the functional utility of objects and they were not attuned to regularities that allows the length of objects to be successfully perceived.

Key words: Haptic perception, muscle-based perception, developmental disorders, typical development.

Many daily activities involve actions during which individuals interact with objects and tools. For example, grasping a key, holding a pencil, lifting a cup or carrying objects are activities that make up an important part of our daily routine [41, 42]. To perform these activities satisfactorily it is not necessary that the full extension of the object be explored. Rather, the non-visual perception of objects' properties and their functional utility is possible by making mechanical contact with only a small part of these objects [8]. Carrying a book, for example, requires perception of the book and limbs' properties and how the book and body segments are positioned relative to each other, to regulate appropriately the forces necessary to execute the action. This kind of haptic perception, which involves muscular effort to explore and manipulate objects and limbs, is called dynamic touch or muscle-based perception and seems to be present in all manipulative activities [6, 35]. In children, for example, haptic perception allows them to learn about the properties and usefulness of the objects and tools [21]. This perceptual ability is necessary for children to perform self-care activities such as toileting, grooming and dressing, as well as writing, playing, among others, and contributes to meeting the functional requirements from different contexts.

A classical task used to assess haptic perception (muscle-based perception) is the wielding of objects without vision, in order to perceive their length [31]. In general, these objects are cylindrical rods with a mass attached to specific positions with the objective of manipulating their mass distribution [8]. Using this experimental paradigm, several authors demonstrated that haptic length perception of cylindrical rods of uniform density and fixed diameter is a function of the largest principal moment of inertia (eigenvalue: I_1) [4, 8, 9, 32]¹. In these experiments, the perceived length increased with the distance of the mass attached to the rods and, consequently, with their rotational inertia. In addition, the relation between perceived length and the second moment of the mass distribution (moment of inertia) occurs

by a power function, from which the exponent is close to $1/3$ [32]. Hence, moment of inertia is considered as the informational basis for length perception [8, 35].

Haptic perception is also assessed in experiments in which participants perceive orientation of rods and body segments without vision [15, 24, 26, 36]. In tasks where individuals were instructed to judge the orientation of the asymmetric rods (L-shaped rods), the eigenvector direction¹ was the informational basis for perception of rods' orientation [36]. Other experiments were undertaken to test the perception of body segment orientation [15, 24, 25]. In such experiments, when individuals were instructed to match their two forearms' position relative to each other without vision, they matched the orientation of the forearms' eigenvectors instead of their elbow angles [25]. These results suggest that the spatial orientation of limbs is perceived by dynamic touch. In sum, a great body of scientific evidence about perception of objects 'properties such as length, shape and orientation has demonstrated that the haptic perceptual system is sensitive to rotational dynamics [34]. In this case, the eigenvalues constrain the perception of object's magnitude (length) [13, 32, 41], and the eigenvectors constrain the perception of object and limb's orientation [15, 24, 26, 36].

The perception of length and orientation of objects and/or body segments by means of muscle-based perception has been mainly assessed in healthy adult individuals [8, 11, 20, 23]. However, as haptic perception depends on active exploration of objects and body segments (action) to pick up relevant information for perception [16], the presence of movement impairments may influence the capability of individuals to detect this information. There are few studies that investigated muscle-based perception in individuals with neurological disorders. Haptic perception of rods length was assessed in adults with neurological pathologies (stroke, spinal cord injury and peripheral neuropathies due to neural lesion or diabetes) [5, 6]. The results of these case studies demonstrate that perceived length was also constrained by moment of inertia of rods. Therefore, regardless the existence of movement

disorders or compromised cutaneous or tactile sensations, the perception of rods length was preserved in these individuals [5, 6]. It's important to stress that these adults had acquired the neurological impairment, meaning that they had for many years used muscle-based perception to support their functioning. The fact that the onset of the neurological condition happened after their full development of haptic perceptual skills may help justify the absence of deficits in haptic perception. However, in children with developmental disabilities, the neurological condition often has its onset prior to the proper development of haptic perceptual abilities and, contrary to what happened to adults, these children did not have the chance to explore the environment prior to the movement disorder.

Clinical evaluations of children with developmental disorders have focused mainly on documenting motor impairments. In order to detect sensory deficits, these children are often submitted to evaluation of their sensory modalities such as stereognosis, position sense, graphaesthesia, two points' discrimination, vibration sense and tactile exploration [2, 33]. In this context, there is evidence that children with cerebral palsy [33] and children with Down syndrome [40] have sensory deficits, in addition to delays in the acquisition of relevant developmental milestones and the presence of motor impairments. Furthermore, some experiments conducted to examine the use of visual information to guide action indicated that children with developmental disorders had impairments in perception-action coupling assessed in several activities [29, 37-39]. Although muscle-based perception is necessary for children, as well as for any individual to perform daily activities effectively, little clinical or scientific attention has been directed to assess this kind of haptic perception in children with developmental disorders. The present study compared haptic perception (muscle based perception) in children with typical development and children with developmental disorders (cerebral palsy and Down syndrome) by means of two tasks: perception of rods length and perception of usefulness of rods to pull objects.

Ten children with Down syndrome (DS Group), twelve children with cerebral palsy (CP Group) and fourteen children with typical development (TD Group) were selected to participate in the study. The inclusion criteria for participation in this study were: physician's diagnosis of trisomy of chromosome 21 for children in the DS group, medical diagnosis of spastic hemiplegia and classification in level 1 from the Manual Ability Classification System (MACS) for children in the CP group, and absence of history of any pathology for children from the TD group. In addition, all children were in school and those allocated in the CP and DS groups were in physical therapy treatment. Inability to understand the instructions and/or the task of the study was considered as criteria for exclusion. Children with DS and CP were recruited from rehabilitation institutions, clinics and schools, and children with TD were recruited from the community. The parents or guardians of all children signed an informed consent form. The University's Ethics Review Committee approved this study.

On the first visit, all children were submitted to the Kaufman Brief Intelligence Test (KBIT2) [19] in order to document their cognitive ability. This test is valid for assessment of a wide range of individuals aged from 4 to 90 years. The KBIT2 yields three scores: Verbal, Non Verbal and overall score (IQ Composite). In the present study, only the Standard Verbal score was used to inform about children's cognitive ability. This verbal score has two subtests named Verbal Knowledge and Riddles. These subtests assess the individual's verbal and word knowledge, a range of general information and reasoning ability. The test-retest reliability ranges from 0.86 to 0.93 for the verbal subtests [19]. In addition, children in the CP group were classified according to the Manual Ability Classification System (MACS) [12]. This system classifies children's use of the upper limbs to perform daily bimanual activities. According to the MACS, children's manual abilities are classified in five distinct levels based on the observation of their ability to handle objects, considering quality of performance, the time, and the need for assistance or adaptation to perform the selected activities. Level I

illustrate very mild manual ability involvement and level V reveals severe upper limbs disability. The MACS has good validity and a high reliability coefficient (ICC of 0.97) [12]. The children in CP group were asked to perform three relevant and age appropriate tasks to characterize their manual ability and only children classified as level I participated in the present study. The characteristics of the children in each group are presented in table 1.

The participants' haptic perceptual capabilities were assessed by means of two tasks: haptic perception of usefulness of rods to pull an object (task 1) and haptic length perception (task 2). For the first task, children were asked to manipulate rods (without visual aid) and verbally indicate whether or not the rod was appropriated to pull an object that was on a table. Three wooden rods (length = 57.5cm; mass = 57g; radius = 0.6cm) were used to in this task 1. Two of the rods had a distal branch of different lengths that rendered them effective for pulling objects. The rod whose distal branch had a length of 12 cm was named Long L-shaped and the rod with a distal branch of 6 cm was called Short L-Shaped. The remaining rod was straight and it did not support the function of pulling an object. An adhesive epoxy material was placed on the distal end of the Straight and Short L-shaped rods. This procedure resulted in mass and torque equivalence among the three rods. However, the rods had different mass distributions and, consequently, different resistances to rotational acceleration.

To guarantee that children understood task 1, each child, by means of visual identification, indicated prior to the test that the L-shaped rods had a branch and could be used to pull an object on the table and that the straight rod could not be used for this task. Before the test, the children performed a practice trial to recognize and manipulate the rods. During the test, the children stood up with their hand passing through a slit in a black curtain (2x2m) that blocked the vision of the rods and at the same time allowed free space for rods manipulation (Figure 1A). The children gripped the proximal end of each rod firmly with the end of the rod flush with the hypothenar eminence of the hand. They were asked to wield each

rod only with movements about the wrist joint and to avoid contact of the rods with the curtain. Feedback was given after each trial. Each of the three rods was presented four times, yielding 12 trials per child. The presentation order of the rods was randomized. The number of correct answers was divided by the number of trials each rod was presented to obtain the agreement index of each child in the haptic perception of the rods' usefulness. This test was performed in a first visit as a familiarization of the task. Only the responses obtained in the second visit were considered for analyses. A maximum interval of one week was given between the two days of data collection for each child.

The haptic length perception task was performed only in the second visit. Two wooden rods (radius=0.6 cm) with lengths of 30cm (mass=16.43kg) and 50cm (mass=38.98g) were used in task 2. The mass distribution of each rod was manipulated by attaching to it a stainless steel cylinder (length=1.05cm; mass=22.23g) at positions corresponding to 50%, 70%, and 90% of its length measured from the proximal end. The children sat on a small chair facing a long table on which a ruler with a pulley system and an adjustable visual marker was positioned. The metric information of this marker was available only to experimenter. For each trial, the children were handed a rod under the table so that no visual information about the object was available (Figure 1B). The task was to “wield the rod and judge its length by indicating in the ruler the position corresponding to the end of the rod”. The examiner did a demonstration to guarantee that the children understood the task. Before each trial, the marker on the ruler was moved to its initial position, which corresponds to the wrist joint axis. A total of 18 trials were performed, considering two rods with three mass positions presented three times. The presentation order of the rods and mass positions were randomized. A rest period between the trials was allowed if solicited by the child. There was no feedback during the experiment and the child was not allowed to see the rods before or after the experiment. Metric responses about rod length judgment were recorded and used for analyses.

Both tasks to assess haptic perception were carried out only in the dominant arm of the children in TD and DS groups. Children of the CP group were assessed bilaterally to allow comparing between affected and unaffected side. A five minutes interval was given between the tests. Another rest period was allowed if solicited by the child.

The moments and products of inertia about the x, y, and z axes (inertia tensor) were computed for rods used in both tasks. In the present study, the origin of the coordinate system was the wrist joint (rotation point), the y-axis was aligned with the longitudinal axis of the rod and the x and z-axes were aligned horizontally and vertically, respectively. The parallel axis theorem was used to transform the moments of inertia of each rod about its respective center of mass to moments and products of inertia about the rotation point at the wrist joint [43]. The inertia tensor of the each rod was diagonalized to obtain its principal moments of inertia or eigenvalues and their respective orientations or eigenvectors. The torque values of the rods used in task 1 were calculated considering the product of mass of each part of the rods (rod mass, branch mass and adhesive material mass) and their respective distance to the rotation point. The deviation of the third eigenvector (e_3) of the L-shaped rods in relation to the e_3 orientation of the straight rod was calculated to describe the asymmetry of mass distribution of the L-shaped rods. The inertial properties of the rods used in task 1 are presented in table 2.

The performance in task 1 was assessed by an agreement index that indicated the percentage of correct perceptual judgments provided by each child about the usefulness of each rod to pull an object positioned on a flat surface. The Shapiro-Wilk test showed that the agreement index was normally distributed in all groups ($p > 0.08$). Thus, this index was analyzed by means of analysis of variance (ANOVA) with one between-subject effect (Group: TD, CP and DS) and one within-subject effect (Rod: Straight, Short and Long) with an alpha level set at 0.05. This analysis demonstrated significant main effects of group ($F_{2,66} = 8.85$, $p = 0.0008$) and rod ($F_{2,66} = 22.79$, $p = 0.0001$). There was no significant interaction

effect ($F_{4,66} = 2.00$, $p = 0.1042$). Contrasts analyses indicated that the TD group had a higher agreement index when compared to both DS ($p = 0.0042$) and CP groups ($p = 0.0004$). No significant difference was observed between the CP and DS groups ($p = 0.5259$), see figure 2A. With respect to the main effect of rod, contrast analyses demonstrated that the agreement index observed for the Straight rod was significantly lower when compared to the ones observed for both Short L-shaped ($p = 0.0001$) and Long L-shaped rods ($p=0.0001$). There was no significant difference in the agreement index when Short and Long L-shaped rods were compared ($p=0.0651$), see figure 2B. In order to compare the agreement index obtained in task 1 between affected and unaffected limbs of cerebral palsied children an ANOVA with two within-subject effect (Rod and Limb) was used. This analysis demonstrated no significant main effect of limb ($F_{1, 22}=0.333$, $p= 0.576$) and neither a significant interaction effect ($F_{2,22}=1.150$, $p= 0.335$).

The judgment of rod's perceived length obtained in task 2 was analyzed by an ANOVA with one between-subject effect (Group) and two within-subject effects (Rod length and Mass position). This analysis demonstrate significant main effects of Group ($F_{2,66}=3.481$, $p=0.042$), Rod length ($F_{1,66}=29.025$, $p=0.0001$), and significant interaction effect of rod length with group ($F_{2,66}=4.075$, $p=0.026$). Contrasts analyses demonstrate that, considering rod length, perceived length was different in all groups ($p<0.028$). The perceived length of both rods observed in CP and DS groups was significantly larger when compared to the ones observed in TD groups. In addition, children with Down syndrome perceived all rods as significantly larger compared to cerebral palsied children. These results indicate that the three groups perceived rod length differently. The absence of significant difference in interaction effect of mass position and group ($p=0.104$) can be explained by large variability within CP and DS groups (see table 3). Even though there was no significant difference, the mean values demonstrate that children with typical development perceived rod length according to mass

manipulation. The same did not occur in children with developmental disorders (Table 3). This finding suggests that the children in the CP and DS groups might not have discovered the lawful relations between I_1 and rod length perception that would allow them to perform this task successfully. If this is the case, the expected scaling relation between LP and I_1 might only be revealed in the TD group.

The relationship between I_1 and perceived length was examined using multilevel models for repeated measures design (or Mixed models). These models were used, first, to test whether I_1 was a significant predictor of perceived length and, second, to determine whether the observed relation between these variables were different for the different groups. Specifically, this analysis evaluated whether the intercepts and slopes of the relationship between I_1 and perceived length differed significantly among children and whether the factor group could explain such differences. In general, multilevel models are composed by two levels [17]. Level 1 informs about within-subject variability, since it allows determining parameters (intercept and slopes) for each individual. Level 2 describes individual deviation from the mean and, thus, yields estimates of between-subject variability.

For this analysis, the logarithmic transformation of the variables was conducted in order to linearize the relation between inertial and metric variables [35]. In the present study, two models were elaborated for data analyses. The first model had in the Level 1 the Log Lp (perceived length) as outcome variable and Log I_1 as predictor. The Level 2 of this model had the individual parameters (intercept and slope) as outcome variable.

Model 1 (Level 1):

$$\text{Log}Lp_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}(\text{Log}I_1)_{ij} + e_{0ij} \quad (1)$$

Where LogLp_{ij} was the perceived length on the j th condition of the i th participant; β_{0i} was the intercept for the i th participant; β_{1i} was the slope coefficient for the predictor variable $\text{Log}I_1$ for the i th participant; and e_{0ij} was the residual variance on the j th condition of the i th participant from his or her predicted trajectory. In Level 1, the slope coefficient represents rate of change in perceived length of each child as a function of I_1 and the residual variance describes the within-subject variability.

Model 1 (Level 2):

$$\beta_{0i} = \beta_0 + \mu_{0i} \quad (2)$$

$$\beta_{1i} = \beta_1 + \mu_{1i} \quad (3)$$

where the β_0 and β_{1i} were the mean of intercepts and the slope coefficients for $\text{Log}I_1$, respectively and represented the fixed effect of the model; μ_{0i} and μ_{1i} were the residual variance of the intercept and the slope coefficient of the i th participant from sample mean. This residual variance is considered a random effect and describes the between-subject variability. However, due to restricted numbers of degrees of freedom, the Level 2 of the model 1 did not estimate the variance of intercept. Then, in equation 2 the intercept of each participant (β_{0i}) was only considered as the mean of intercept (β_0) without estimate of intercept variance.

As the results of the ANOVA demonstrated that the rods length was differently perceived in the three groups, a second multilevel regression model was performed to test whether the observed relation between perceived length and I_1 were different among groups. The equation for complete model 2 with Levels 1 and 2 are indicated below:

$$\text{Model 2: } \text{Log}Lp_{ij} = \beta_0 + \beta_{01}(\text{Group})_{ij} + \beta_1(\text{Log}I)_{ij} + \beta_{11}(\text{Log}I)_{ij} * \text{Group}_{ij} + \mu_{1i}(\text{Log}I)_{ij} + e_{0ij}$$

(4)

where β_{01} and β_{11} were the fixed effect of group in the intercept and the slope, respectively.

The results of the multilevel regression models revealed that I_1 was a significant predictor of the perceived length ($p < 0.0001$). In addition, it was observed a significant slope coefficient variance ($p < 0.0001$), which indicates differences among children. When the group variable was introduced into the models it was a significant predictor of intercept ($p = 0.003$) and slope coefficient ($p < 0.0001$). In addition, as the difference in deviance statistics was 7.02, exceeding the critical value of a χ^2 distribution on 2 degrees of freedom, the model with the addition of the group variable produced a better fit ($p < 0.05$) when compared with the model that consider only I_1 . Although the group variable has explained part of the variance found in slope coefficient estimated for each participant (between-subject difference), the variance of slope still remained significant. The results of the multilevel models are presented in table 4.

Given that the group variable explained part of the between-subject variability, multilevel regression models were performed to analyze the behavior of the children in each group independently. The multilevel revealed that in the TD group the independent factor I_1 was a significant predictor of perceived length ($P < 0.0001$) and the form of dependence of the length judgments on the objects mass moments was consistent with what is expected from dimensional analysis (expected slope = 0.33, observed = 0.37). The multilevel analyses performed in CP and in DS groups demonstrated that I_1 was not significant predictor of perceived length in these groups ($p = 0.06$ for DS group and $p = 0.10$ for CP group). In addition, as expected, the relation between I_1 and perceived length in these groups presented atypical scaling (0.15 in DS group and 0.078 in CP group).

In order to compare the perceived length between affected and unaffected limbs of children with cerebral palsy an ANOVA with three within-subject effect (Rod length, mass position and Limb) was performed. This analysis also demonstrated no significant main effect limb ($F_{1, 132}=2.084$, $p= 0.151$) and neither significant interaction effects ($p>0.393$). Two multilevel regression models were also performed to verify the influence of limb in the relation between perceived length and I_1 . The first model demonstrated that I_1 was a significant predictor of perceived length in this group ($p=0.001$) and that there was a significant variance in the slope coefficients ($p=0.003$). In the second model, the independent factor limb was added in an attempt of explaining the difference observed in slopes. The results demonstrated that Limb was significant predictor of intercepts ($p=0.01$) and of slope coefficients ($p=0.037$). Although the limb variable explained part of variance among slopes, there was no significant gain in model fit (difference in deviance statistic did not exceed the critical value of χ^2 distribution) and the variance of slopes still remained significant. These results are presented in table 5. As independent factor limb explained part of variance in slopes observed in CP group, multilevel regression models were performed in each limb independently. The results demonstrated that, differently from affected limb, in the unaffected limb the independent variable I_1 was a significant predictor on perceived length ($P<0.0001$) and the relation between these variable present a slope coefficient (0.23), close to expected in dimensional analysis

Simple Linear Regression analyses were used to allow graphic illustration of scaling between perceived length and I_1 for each group (Figure 3).

The significant difference observed in the agreement index obtained in task 1 between the TD group and the CP/DS groups indicates that children with typical development had better performance in the perception of the functional utility of rods. The lower mean value of the agreement index observed in the DS and CP groups compared to the TD group suggests

that children with developmental disorders may not be sensitive to information that supports such perception. There is evidence in the literature that children with developmental disabilities have difficulty to detect visual information necessary to the accomplishment of some actions [38, 39]. Burton et al. [3] demonstrated that these children had errors in making decisions related to their ability to move through obstacles. According to these authors, children with disabilities may have problems perceiving their own body properties (body size) and the actions possibilities available to properly perform in the environment. Charlton et al. [10] revealed that children with DS had difficulty in adjusting their grip as a function of object size. Finally, Vir-Babul and Braw [39], examined children with DS during the performance of a task in which they were required to cross obstacles of two different heights. The results suggested that visual information about the obstacles was not used consistently to modulate the children's actions. Current evidence not only suggests that children with CP or DS have deficits in visual perception, but also in proprioceptive and tactile abilities [2, 33, 44]. The present study offers new information about the muscle-based perceptual capabilities of these children. Specifically, the results suggest that children with CP and DS are not fully capable of picking up mechanical information about properties of objects that support tool use.

The perceptual judgment of the straight rod had lower agreement index when compared to the ones observed for both L-shaped rods. The greater resistance to rotation and the asymmetry of mass distribution of the L-shaped rods may have facilitated their perception as adequate tools to pull objects. The lower agreement index observed in the perception of the Straight rod indicates that this rod was perceived as being adequate to pull objects, when in fact it was not. This result can be justified if children based on their judgment in a variable that does not inform about the desirable property (non-specifying variables) [18]. All rods used in task 1 had different inertial properties, but the same torque value (table 2). Although

the rods' torque could not inform about the resistance to rotational acceleration and, consequently, about the presence or absence of their branch, some children seemed to have relied on torque to make their judgments about the rod's adequacy to pull objects. This behavior seems not be present in all groups of children. Although there was no significant interaction effect of rod with group, the mean values of the agreement index obtained for each rod in each group indicate that in typical children the agreement observed in perception of the straight rod was greater than chance (0.661) when compared to perception of this rod in CP group (0.271) and DS group (0.325).

Atypical performance of the children with CP and DS was also observed in task 2. Their inability to distinguish the length of the rods based on their mass distribution suggests that they were not sensitive to mechanical parameters informative of such property. The multilevel models provided support to this argument. Pointedly, the results of these models demonstrated that I_1 was a significant predictor of perceived length, but there was significant variance of the slope coefficients. This variance suggests that rod length was perceived differently in each group. The possibility that the independent factor "group" could explain this between-subject variability was investigated. When this factor was introduced in the model, there was a significant reduction of the residual variance and significant improvement of the model's fit. Given that the group variable explained part of the between-subject variability, the behavior of the children in each group was analyzed independently.

Typical children had the expected responses observed in most dynamic touch studies. In particular, perceived length increased with the actual length of the rods and with the distance of the attached mass from the hand. This finding suggests that perception of rod length was based on detection of an inertial invariant of the wielding dynamics. In support of the latter argument, I_1 was a significant predictor of perceived length, explaining 91% of variability observed in perceived length by typical children. In addition, a power function

characterized the relationship between mean L_P and I_1 : $L_P = a(I_1)^b$ (Figure 3). The mean value of b obtained was 0.37 (SD = 0.03), close to the value expected from dimensional analysis and within the range (0.25 to 0.43) observed in a number of experiments with typical adults [13, 27, 31] and older individuals [7]. However, the same did not occur in children with CP or DS. The independent factor I_1 was not a significant predictor of perceived length in either one of the latter groups and, as expected, the relation between these variables presented atypical slopes. This lack of significant correlation between inertial and metric variables indicates that children with developmental disorders were not sensitive to the mechanical invariant of the wielding dynamics that support perception of the linear extent of the rods. In sum, the results of multilevel regressions indicate that typical children were attuned to a regularity that allows object length to be successfully perceived by means of detection of I_1 , while children in CP and DS groups were not. Considering the central role of muscle-based perception (or dynamic touch) in the regulation of action, it is possible that the observed deficits are related to the difficulty presented by these children to interact effectively with objects and tools.

The inability of children with CP or DS to perform task 2 successfully is not in agreement with studies about rod length perception in adults with neurological impairments. Differently from the children assessed in the present study, adult subjects were capable of properly perceiving the length of cylindrical rods. In addition, a significant dependence on maximum eigenvalue (I_1) was revealed in the perception of rod length [5, 6]. This finding allowed the authors to conclude that the capability of these individuals to perceive geometric properties of objects by dynamic touch is generally preserved even in the presence of motor impairment. Two factors might explain this contradictory result and should be stressed. First, the absence of haptic perceptual deficit in neurological patients was observed only in case studies. Therefore, care should be taken when generalizing these results in face of the varied behavioral presentation of this clinical population. Second, adult individuals have more

experience and exposition to different perceptual and motor activities and the neurological pathology occurred after the development of their haptic perceptual capabilities in the childhood. Consequently, adult individuals presenting neurological conditions are possibly better prepared to explore alternative forms of interaction with environment [30] that reveal the relevant invariants for a given haptic perceptual task. Consequently, successful perception of object properties might be possible even in the presence of motor impairments. The same seems not to occur in children with developmental disorders. All perceptual experience of these children occurred in the presence of a prior motor impairment, which can influence the adequate development of their haptic perceptual capability. In addition, there is evidence that children with DS or CP had less experience in manipulative tasks involving tool use [22, 28] and children with CP had significant difficulty performing some manual activities [12]. Thus, the motor impairment, acquired prior to full development of haptic perceptual capabilities may contribute to these children's diminished level of experience in and exposition to different perceptual and motor activities. This fact may impair children capability to explore the environment and to perceive what it affords for action.

Given that haptic invariants are related to deformation patterns in biological tissue caused by exploratory dynamics [32], characteristics of the musculoskeletal system of children with developmental disorders may also have influenced their impaired haptic perceptual capabilities. During the wielding dynamics, deformation and changes of the tension status occurs in tissues surrounding the moving joint [32]. The changes of deformation/tension locally induced by wielding dynamics should be globally distributed, generating a global deformation/tension field in the body [32]. These local and global patterns of transformations in tissue deformation (tension) are lawfully related to the forces causing them and hence are informative about these forces[32]. In the context of the present study, manipulations of inertial moments of the rods should promote changes in tissue deformation

patterns, which are lawfully related to these manipulations. That is to say, there is an isomorphism between the invariants of the global tension/deformation field and invariants of the wielding dynamics informative of the object properties [32]. Therefore, the haptic perceptual system may detect the invariants over the changes in the tissue deformation distribution in order to perceive object properties. The effectiveness of the global tension distribution depends on the characteristics of the musculoskeletal system such as tissue stiffness. On the one hand, a tissue with low stiffness undergoes greater deformation as a function of local stress and as a consequence diminishes the capability of this tissue to transmit tension to the other body segments [14]. On the other hand, an excessively stiff tissue undergoes very little deformation, which also influences the transfer of tension among specific tissues [14]. Therefore, considering the proposed mechanism underlying haptic perception by dynamic touch, an inefficient mechanism of tension distribution due to a pathological level of tissue stiffness in children with CP or DS (high stiffness in CP and low stiffness in DS) may impair the establishment of lawful relations between changes in the global tension field and invariants of the wielding dynamics. Consequently, the haptic perceptual system may not have access to the invariants present in the dynamics of wielding. However, the influence of tissue stiffness in haptic perceptual skills was not investigated in the present study, which makes any conclusion in this regard only speculative.

Considering the comparison between affected and unaffected limbs in children with cerebral palsy, the results revealed no difference between limbs in the agreement index and perceived length. Although in Multilevel analyses the limb variable had explained part of the variance in the slope coefficients, its introduction in the model did not improve the models' fit. When multilevel regression models were performed in each limb independently it was observed that, in unaffected limb, I_1 was significant predictor of perceived length. The same did not occur in affect limb. This result could be justified by significant restriction of

movement observed in affected limb, which can have influenced the dynamics of wielding and consequently detection of invariants. This finding is not supported by results obtained in adults with neurological impairment. In these individuals, length perception was a function of moment of inertia in the two limbs, suggesting that their haptic perceptual system was capable to detect information regardless motor impairment [5, 6]. However, Tachdjian and Minear [33] demonstrated high incidence of sensory deficit in functionally disabled hand in children with spastic hemiplegia, indicating a difference between limbs. If properties of the musculoskeletal system, such as stiffness, influenced haptic perception, the difference in tissue stiffness between limbs might explain why in unaffected limb the perception was based on invariant of wielding dynamics and in affected limb was not. However, the lack of difference in the agreement index and in perceived length between limbs observed in the ANOVA and the lack of improvement in the model's fit observed in multilevel analyses weakens such argument.

It could be argued that the performance of children with Down syndrome might have been influenced by their cognitive deficits ($KBIT2 = 53.67$). However, there is evidence in the literature that children with cognitive deficits are capable of understanding and performing several activities with similar levels of demand as the ones in the present study [2]. Block et al. [1] demonstrated that boys with mental retardation and without physical disability were able to judge what distance they could or could not jump. According to these authors, this result can be explained by the fact that cognitive processes are not necessary for perception of action possibilities. Thus, children with mental retardation should not be at disadvantage when compared to children without mental retardation in this sort of task. In addition, data collection only began after children understood both tasks. Children that did not understand the tasks were excluded from the study. Therefore, it is unlikely that a deficit in cognitive ability was the cause of the poor performance of children in DS group. Care should be taken

in generalizing the results of the present study regarding haptic perceptual deficits in children with developmental disorders. The number of assessed children may not be representative of the behavior of this pathological population in general. In addition, only children with cerebral palsy classified in level I in the MACS were assessed and this study does not inform about possible deficits in haptic perception in other types of cerebral palsy, since only children with spastic hemiplegia were assessed.

In sum, the results of the present study revealed that children with cerebral palsy or Down syndrome may have haptic perceptual impairments. In order to make children with developmental disorders more attuned and sensitive to inertial invariants that support perception of object properties, it is necessary that clinical interventions focus on the perception within the movement context. Since exploratory actions are a requirement for perception by dynamic touch, including haptic perception, intervention strategies could involve active exploration of objects with different mass distribution (shape, weight, length) with the objective of allowing children to perceive and learn about how these objects can be moved and what are their functional uses. Changes in object design could also be carried out to facilitate their functional use [6]. For example, objects with mass concentrated close to rotational point may facilitate tasks that involve more precision [6]. In addition, if tissue properties are actually relevant for haptic perception, interventions designed to modify biological tissue stiffness could make the musculoskeletal system more prone to be more effectively structured by mechanical events within and adjacent to the body. Therefore, these strategies would provide more experience to and improve the capability of the children to interact with their environment, which might improve the effectiveness of the haptic perceptual system to pick up the relevant information that supports perception and action.

References

- [1] M.E. Block, Can children with mild mental retardation perceive affordance for action?, *Adapt. Phys. Activ. Q.* 10 (1993) 137-145.
- [2] B.R. Brandt, Impaired tactual perception in children with Down's syndrome, *Scand. J. Psychol.* 37 (1996) 312-316.
- [3] A.W. Burton, Assessing the perceptual-motor interaction in developmentally disabled and nonhandicapped children, *Adapt. Phys. Activ. Q.* 7 (1990) 325-337.
- [4] C. Carello, P. Fitzpatrick, I. Flascher, M.T. Turvey, Inertial eigenvalues, rod density, and rod diameter in length perception by dynamic touch, *Percept. Psychophys.* 60 (1998) 89-100.
- [5] C. Carello, J. Kinsella-Shaw, E.L. Amazeen, M.T. Turvey, Peripheral neuropathy and object length perception by effortful (dynamic) touch: a case study, *Neurosci. Lett.* 405 (2006) 159-163.
- [6] C. Carello, P.L. Silva, J.M. Kinsella-Shaw, M.T. Turvey, Muscle-based perception: theory, research and implications for rehabilitation, *Br. J. Phys. Ther.* 12 (2008) 339-350.
- [7] C. Carello, S. Thuot, M.T. Turvey, Aging and the perception of a racket's sweet spot, *Hum. Mov. Sci.* 19 (2000) 1-20.
- [8] C. Carello, M.T. Turvey, Rotational invariants and dynamic touch. In: M.A. Heller (Ed.), *Touch, representation and blindness*, Oxford University Press, New York 2000, pp. 27-66.
- [9] T.C. Chan, The effect of density and diameter on haptic perception of rod length, *Percept. Psychophys.* 57 (1995) 778-786.
- [10] J. Charlton, E. Ibsen, B.M. Lavelle, Control of manual skills in children with Down syndrome. In Weeks, D.J., Chua, R., Elliott D. (Eds). *Perceptual-motor behavior in Down syndrome*, Champaign, IL: Human Kinetics, 2000, pp. 25-48.
- [11] M.M. Cooper, C. Carello, M.T. Turvey, Perceptual independence of whole length, partial length, and hand position in wielding a rod, *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 26 (2000) 74-85.
- [12] A.C. Eliasson, L. Krumlinde-Sundholm, B. Rosblad, E. Beckung, M. Arner, A.M. Ohrvall, P. Rosenbaum, The Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability, *Dev. Med. Child Neurol.* 48 (2006) 549-554.

- [13] P. Fitzpatrick, C. Carello, M.T. Turvey, Eigenvalues of the inertia tensor and exteroception by the "muscular sense", *Neuroscience* 60 (1994) 551-568.
- [14] S.T. Fonseca, J.M. Ocarino, P.L.P. Silva, C.F. Aquino, Integration of Stresses and their Relationship to the Kinetic Chain. In: D.J. Magee, J.E. Zachazewski, W.S. Quillen (Eds.), *Scientific Foundations and Principles of Practice in Musculoskeletal Rehabilitation*, Saunders Elsevier, 2007, pp. 476-486.
- [15] S.R. Garrett, C. Pagano, G. Austin, M.T. Turvey, Spatial and physical frames of reference in positioning a limb, *Percept. Psychophys.* 60 (1998) 1206-1215.
- [16] J.J. Gibson, *The senses considered as perceptual systems*, Houghton Mifflin, Boston, 1966.
- [17] H. Goldstein, *Multilevel Statistical Models*, Griffin, London, 1999, 192 pp.
- [18] D.M. Jacobs, C.F. Michaels, Direct Learning, *Ecol. Psychol.* 19 (2007) 321-349.
- [19] Kaufman A.S., K. N.L., *Kaufman Brief Intelligence Test*, Pearson Assessments, 1997.
- [20] I. Kingma, P.J. Beek, J.H. van Dieen, The Inertia Tensor Versus Static Moment and Mass in Perceiving Length and Heaviness of Hand-Wield Rods, *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 28 (2002) 180-191.
- [21] G.L. Klevberg, D.I. Anderson, Visual and haptic perception of postural affordances in children and adults, *Hum. Mov. Sci.* 21 (2002) 169-186.
- [22] S.H. Landry, M.L. Chapieski, Joint attention and infant toy exploration: effects of Down syndrome and prematurity, *Child Dev.* 60 (1989) 103-118.
- [23] C.C. Pagano, P.A. Cabe, Constancy in Dynamic Touch: Length Perceived by Dynamic Touch Is Invariant Over Changes in Media, *Ecol. Psychol.* 15 (2003) 1-17.
- [24] C.C. Pagano, C. Carello, M.T. Turvey, Exteroception and exproprioception by dynamic touch are different functions of the inertia tensor, *Percept. Psychophys.* 58 (1996) 1191-1202.
- [25] C.C. Pagano, S.R. Garrett, M.T. Turvey, Is limb proprioception a function of the limb's inertia eigenvectors?, *Ecol. Psychol.* 8 (1996) 43-69.
- [26] C.C. Pagano, J.M. Kinsella-Shaw, P.E. Cassidy, M.T. Turvey, Role of the inertia tensor in haptically perceiving where an object is grasped, *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 20 (1994) 276-285.
- [27] A. Peck, R.G. Jeffers, C. Carello, M.T. Turvey, Haptically perceiving the length of one rod by means of another, *Ecol. Psychol.* 8 (1996) 237-258.

- [28] L. Pellegrino, Cerebral palsy: a paradigm for developmental disabilities, *Dev. Med. Child Neurol.* 37 (1995) 834-839.
- [29] G. Savelsbergh, J. van der Kamp, A. Ledebt, T. Planinsek, Information movement coupling in children with Down syndrome., D. J. Weeks, R. Chua, & D. Elliott (Eds.), *Perceptual-Motor Behavior in Down Syndrome*, Champaign, IL: Human Kinetics., 2000, pp. 251–276.
- [30] P.L.P. Silva, S. Harrison, J. Kinsella-Shaw, M.T. Turvey, C. Carello, Lessons for Dynamic Touch from a Case of Stroke-induced Motor Impairment, *Ecol. Psychol.* in press (2009).
- [31] H.Y. Solomon, M.T. Turvey, Haptically perceiving the distances reachable with hand-held objects, *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 14 (1988) 404-427.
- [32] H.Y. Solomon, M.T. Turvey, G. Burton, Gravitational and muscular variables in perceiving rod extent by wielding, *Ecol. Psychol.* 1 (1989) 265-300.
- [33] M.O. Tachdjian, W.L. Minear, Sensory disturbances in the hands of children with cerebral palsy, *J. Bone Joint Surg. Am.* 40-A (1958) 85-90.
- [34] M.T. Turvey, Action and perception at the level of synergies, *Hum. Mov. Sci.* 26 (2007) 657-697.
- [35] M.T. Turvey, Dynamic touch, *Am. Psychol.* 51 (1996) 1134-1152.
- [36] M.T. Turvey, G. Burton, C.C. Pagano, H.Y. Solomon, S. Runeson, Role of the inertia tensor in perceiving object orientation by dynamic touch, *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 18 (1992) 714-727.
- [37] F.R. van der Weel, A.L.H. van der Meer, D.N. Lee, Measuring dysfunction of basic movement control in cerebral palsy, *Hum. Mov. Sci.* 15 (1996) 253-283.
- [38] P.M. van Kampen, A. Ledebt, G.J. Savelsbergh, Visual guidance during an interception task in children with Spastic Hemiparetic Cerebral Palsy, *Neurosci. Lett.* 432 (2008) 7-12.
- [39] N. Virji-Babul, M. Brown, Stepping over obstacles: anticipatory modifications in children with and without Down syndrome, *Exp. Brain Res.* 159 (2004) 487-490.
- [40] N. Virji-Babul, K. Kerns, E. Zhou, A. Kapur, M. Shiffrar, Perceptual-motor deficits in children with Down syndrome: implications for intervention, *Downs Syndr. Res. Pract.* 10 (2006) 74-82.
- [41] J.B. Wagman, C. Carello, Affordances and inertial Constraints on Tool Use, *Ecol. Psychol.* 13 (2001) 173-195.

- [42] J.B. Wagman, C. Carello, Haptically creating affordances: the user-tool interface, *J Exp Psychol Appl* 9 (2003) 175-186.
- [43] D.A. Winter, *Anthropometry. Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, Wiley and Sons, Inc, New York, 1990, pp. 51-74.
- [44] M. Yekutieli, M. Jariwala, P. Stretch, Sensory deficit in the hands of children with cerebral palsy: a new look at assessment and prevalence, *Dev. Med. Child Neurol.* 36 (1994) 619-624.

Note¹: The inertial properties of the objects are represented by the inertia tensor (I_{ij}) that quantifies the object's resistance against angular acceleration in different directions. The tensor of inertia (mathematically represented by 3x3 symmetric matrix) is an invariant that relate the torques and motions produced by physical properties of the object and the movements of the segment that wielded it. The diagonal elements of the tensor represent the magnitudes of resistance to rotation in the three orthogonal axes (moments of inertia). The elements located off the diagonal quantify the resistance to rotation in directions perpendicular to the rotation axes (products of inertia), indicating the asymmetry of the object's mass distribution. The diagonalization of the tensor allows obtaining the principal moments of inertia or eigenvalues (I_1, I_2, I_3 : maximal, intermediate and minimal moments of inertia respectively) and their respective orientation or axes of symmetry (eigenvectors: e_1, e_2, e_3).

Figure captions:

Figure 1: A) Apparatus and children positioning for the task of perceiving the usefulness of rods to pull objects. B) Apparatus and children positioning for the task of perceiving rod length.

Figure 2: Means and standard errors of agreement index obtained in test of perception of usefulness of rods to pull objects. A) Groups comparison. B) Rods comparison. C) Comparison between affected and unaffected limbs in CP group. (* Significant difference $p < 0.05$)

Figure 3: Plot of Log L_p (perceived length) and Log I_1 relation for each group, with mean of slope coefficient and standard errors.

Figure 1

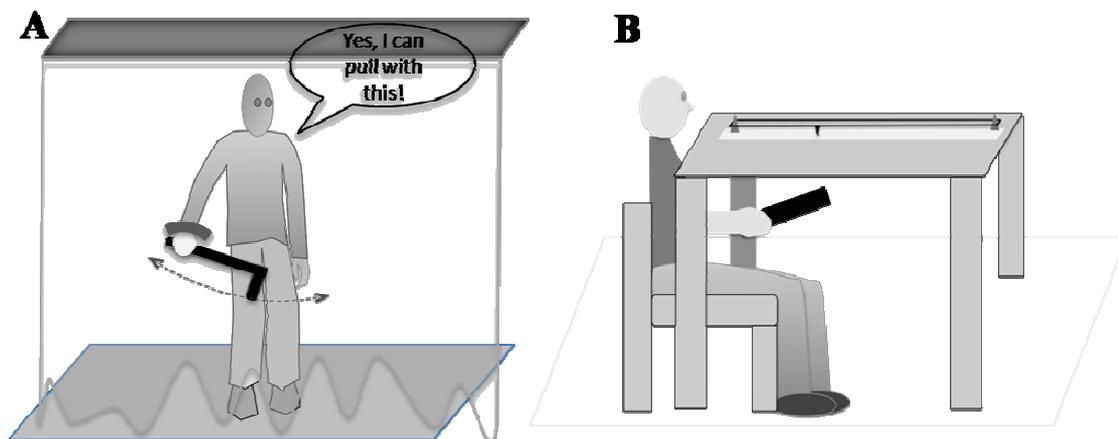


Figure 2

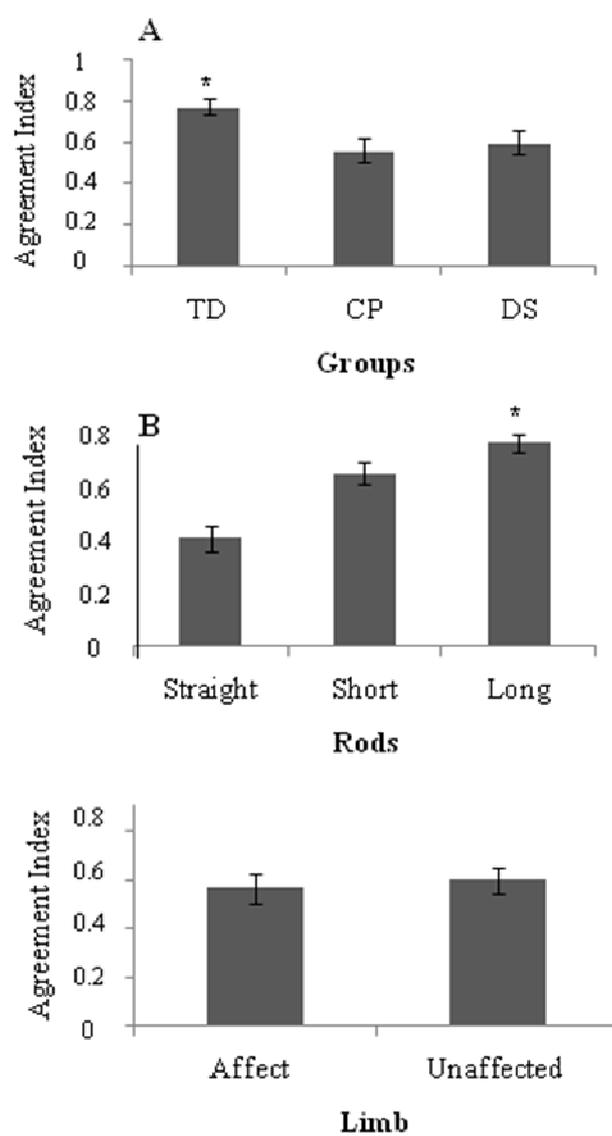


Figure 3

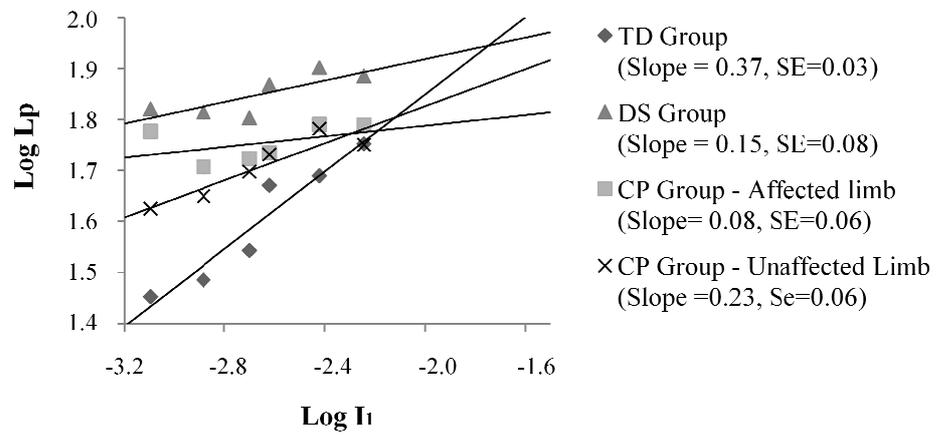


Table 1

Table 1: Descriptive results for age (years), sex, body weight (Kg), height (m), and KBIT2 score.

	TD Group	CPGroup	DSGroup
Age *	9.21 (0.318)	8.45 (0.157)	9.88 (0.309)
Sex**			
Male	6	3	6
Female	8	8	3
Body Weight*	29.87 (1.72)	27.93 (2.32)	36.02 (3.213)
Height *	1.36 (0.02)	1.32 (0.03)	1.31 (0.03)
Standard Verbal Score - KBIT2*	114.64 (4.37)	90.27 (6.00)	53.67 (3.93)

**Numbers indicate mean (standard error), ** Numbers indicate frequency of children in each category.*

Table 2

Table 2: Values of three principal moments of inertia or eigenvalues: I_1 , I_2 , I_3 (Kgm^2), torque (Nm) and the deviation of the orientation of the third eigenvector (e_3) of the L-shaped rods related to e_3 of straight rod (degrees).

<i>Rods</i>	<i>I₁</i>	<i>I₂</i>	<i>I₃</i>	<i>Torque</i>	<i>e₃ deviation</i>
Straight	0.007595	0.007594	0.000002	0.01997	0
Short	0.009405	0.009389	0.000018	0.01997	1.3
Long	0.009796	0.009699	0.000099	0.01997	5.1

Table 3

Table 3: rods length (cm), mass position (%), means (standard error) of perceived length (Lp) for all groups (cm) and values of principal moment of inertia- $I_1(\text{kgm}^2)$

Rods Length	Mass Position	I1	Lp- TD Group	Lp- Ds Group	Lp- Affected Side (CP)	Lp- Non-Affected Side (CP)
			28.364	66.194	59.833	42.164
	50	0.0008	(1.761)	(14.917)	(10.747)	(6.519)
			30.614	65.338	50.929	44.594
30	70	0.0013	(1.838)	(15.530)	(7.456)	(6.303)
			34.925	63.533	52.917	49.819
	90	0.0020	(2.440)	(13.735)	(5.967)	(6.673)
			46.844	73.765	54.232	53.825
	50	0.0024	(2.885)	(16.754)	(4.106)	(4.447)
			48.911	79.783	61.721	60.619
50	70	0.0038	(3.361)	(17.907)	(9.508)	(4.799)
			56.578	76.709	61.697	56.297
	90	0.0057	(3.953)	(11.297)	(7.482)	(3.930)

Table 4

Table 4: Model 1: results of the Multilevel Models performed to test the effect of the I_1 as predictor for perceived length. Model 2: results with the addition of the “Group” variable as a predictor for the between-subjects differences in the slopes founded in Model 1

Model 1: I_1 as predictor			
Fixed Effects	Coefficient (SE)	t	p-value
β_0	2.247 (0.063)	35.475	<0.0001
β_1	0.215 (0.026)	8.293	<0.0001
Random Effects	Variance (SE)		p-value
σ	0.004 (0.0009)		<0.0001
Model 2: I_1 and Group			
Fixed Effects	Coefficient (SE)	T-ratio	p-value
β_0	2.451 (0.092)	26.617	<0.0001
β_1	0.323 (0.037)	8.705	<0.0001
β_{01}	-0.229 (0.076)	-2.995	0.003
β_{11}	-0.122 (0.030)	-3.949	<0.0001
Random Effects	Variance (SE)		p-value
σ	0.003 (0.0008)		<0.0001

Note: β_0 is mean of intercept, β_1 is mean slope coefficient for Log I_1 , β_{01} is fixed effect of group in intercept, β_{11} is fixed effect of group in slope coefficients, σ is variance of slope coefficient for Log I_1 .

Table 5

Table 5: Model 1: results of the Multilevel Models performed to test the effect of the I_1 as predictor for perceived length in CP Group. Model 2: results with the addition of the “Limb” variable as a predictor for the between-subjects differences in the slopes founded in Model 1.

Model 1: I_1 as predictor			
Fixed Effects	Coefficient (SE)	t	p-value
β_0	2.105 (0.079)	26.436	<0.0001
β_1	0.154 (0.031)	4.926	<0.0001
Random Effects	Variance (SE)		p-value
σ	0.002 (0.0007)		0.003
Model 2: I_1 and Limb			
Fixed Effects	Coefficient (SE)	T-ratio	p-value
β_0	1.905 (0.108)	17.641	<0.0001
β_1	0.092 (0.042)	2.182	0.031
β_{01}	0.400 (0.152)	2.625	0.010
β_{11}	0.124 (0.058)	2.109	0.037
Random Effects	Variance (SE)		p-value
σ	0.002 (0.0009)		0.004

Note: β_0 is mean of intercept, β_1 is mean slope coefficient for Log I_1 , β_{01} is fixed effect of side in intercept, β_{11} is fixed effect of side in slope coefficients, σ is variance of slope coefficient for Log I_1 .

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados permitiram um melhor entendimento sobre a faixa etária na qual a percepção baseada em ação muscular está desenvolvida e consolidada em crianças com desenvolvimento típico, bem como sobre o impacto de desordens do desenvolvimento como a síndrome de Down e a paralisia cerebral neste tipo de percepção háptica.

Os resultados do primeiro estudo demonstraram um efeito desenvolvimental na percepção háptica, uma vez que crianças mais velhas tiveram melhor desempenho na tarefa do que as mais novas. Assim como outras modalidades perceptuais como a discriminação tátil (44) e propriocepção (47 - 49), a percepção háptica da utilidade funcional de hastes parece estar consolidada a partir dos oito anos de idade. O bom desempenho das crianças com idade igual ou superior a oito anos pode indicar que essas crianças estão mais aptas a detectar informação que especifica a propriedade das hastes e conseqüentemente sua utilidade funcional. Estes resultados permitem ressaltar a importância da experiência para percepção. A maior experiência em atividades manipulativas adquirida pelas crianças em idade escolar pode ajudar no refinamento das habilidades tanto motoras como perceptuais, o que se reflete em uma maior habilidade para detecção de informação, como no caso do presente estudo. Outro ponto importante de se ressaltar é que a aquisição da habilidade perceptual háptica para detectar propriedades inerciais de objetos parece ocorrer concomitantemente com a aquisição de habilidades motoras relacionadas à função manual (69). Essa similaridade sugere um acoplamento entre percepção e ação, pois à medida que as crianças vão adquirindo maior habilidade

para realizar movimentos mais refinados com os membros superiores tornam-se possíveis novas interações com o ambiente e, conseqüentemente, a percepção de propriedades e possibilidades de ações que permitem novas capacidades de ação.

Os resultados obtidos no segundo estudo demonstraram que crianças com desenvolvimento típico realizaram ambas as tarefas com sucesso, o que sugere que as mesmas conseguiram detectar informação que suportava a percepção da utilidade funcional e comprimento das hastes. O desempenho dessas crianças foi similar ao observado em estudos realizados com indivíduos adultos. O fato do momento principal de inércia de maior magnitude (I_1) ter sido um preditor significativo do comprimento percebido, explicando 91% de sua variabilidade, indica que a percepção de comprimento das hastes nestas crianças foi suportada pela detecção dos parâmetros invariantes revelados durante a dinâmica de exploração das hastes.

Crianças com distúrbios do desenvolvimento, por outro lado, não foram capazes de perceber a utilidade funcional das hastes. Além disso, a ausência de correlação significativa entre a variável inercial (I_1) e a variável métrica (comprimento) sugere que essas crianças não foram capazes de detectar a relação existente entre I_1 e comprimento que permitiria que a tarefa 2 fosse realizada com sucesso. Embora a percepção baseada em ação muscular em adultos com patologias neurológicas pareça estar preservada (10, 52), o provável déficit observado nessas crianças pode ser devido ao fato da aquisição da limitação motora decorrente da patologia ter ocorrido antes do desenvolvimento e consolidação da percepção háptica. O déficit motor dessas crianças pode ter influenciado a habilidade das mesmas de interagir com o ambiente, influenciando assim o desenvolvimento de algumas de suas habilidades perceptuais hápticas. Além da influência do déficit

motor, é elaborada, em caráter especulativo, a hipótese de que alterações de características do sistema musculoesqueléticos dessas crianças (como níveis patológicos de rigidez tecidual), por alterarem os mecanismos de distribuição global de tensão, poderiam prejudicar o estabelecimento das relações entre as mudanças no campo de tensão global e os invariantes da dinâmica de exploração.

Crianças com condições de saúde como paralisia cerebral e síndrome de Down geralmente apresentam limitações e dificuldades na exploração e no uso funcional de objetos presentes na sua rotina diária. As evidências do segundo estudo apontam para um provável déficit perceptual háptico em crianças com distúrbios do desenvolvimento. Como a percepção háptica está presente em atividades manipulativas com objetos e ferramentas (12), bem como na regulação do movimento e manutenção de postura (11), déficits perceptuais hápticos podem provocar limitações funcionais importantes para a realização dessas tarefas ou movimentos. Geralmente, o tratamento de crianças com essas patologias está direcionado a maximizar as habilidades motoras e minimizar as disfunções de movimento decorrentes da patologia (58, 70). Neste contexto, os treinos para ganho de habilidade e experiência sensório-motora envolvem, na verdade, trabalhos de estabilização postural e de mobilidade em geral com o objetivo de promover o desenvolvimento da percepção espacial e consciência corporal (70). Esse fato demonstra que, geralmente, as habilidades perceptuais são trabalhadas fora do contexto do movimento (71). Embora o resultado do presente estudo não embase diretamente como o tratamento fisioterápico deve ser direcionado, o conhecimento sobre a presença de prováveis déficits perceptuais e a confirmação de quais princípios regem a percepção háptica podem auxiliar no processo de tomada de decisão em relação ao tratamento dessas crianças. Neste contexto, diante da

presença desses déficits perceptuais estratégias de intervenção deveriam propiciar treinos perceptuais em um contexto de exploração ativa de objetos com diferentes distribuições de massa por exemplo. Essas estratégias possibilitariam que as habilidades tanto perceptuais como motoras fossem sendo adquiridas ao longo do desenvolvimento para serem funcionalmente utilizadas nos contextos de vida dessas crianças.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) VAN DE LANGENBERG, R.; KINGMA, I.; BEEK, P. J. Mechanical invariants are implicated in dynamic touch as a function of their salience in the stimulus flow. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception Performance*, v.32, n.5, p.1093-106, Oct. 2006.
- (2) WAGMAN, J. B.; CARELLO, C. Affordances and inertial Constraints on Tool Use. *Ecological Psychology*, v.13, n.3, p.173-195, 2001.
- (3) WAGMAN, J. B.; CARELLO, C. Haptically creating affordances: the user-tool interface. *Journal of Experimental Psychology Applied*, v.9, n.3, p.175-86, Sep. 2003.
- (4) GIBSON, J. J. *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin. 1986
- (5) CARELLO, C. Perceiving affordances by dynamic touch: hints from the control of movement. *Ecological Psychology*, v.16, n.1, p.31-36, 2004.
- (6) CARELLO, C.; TURVEY, M. T. Physics and psychology of the muscle sense. *Current Directions in Psychological Science*, v.13, n.1, p.25-28, 2004.
- (7) GIBSON, J. J. *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin. 1966
- (8) HOOP, N. H. Haptic perception in preschool children. II. Object manipulation. *American Journal of Occupational Therapy*, v.25, n.8, p.415-9, Nov-Dec. 1971.
- (9) TURVEY, M. T. Dynamic touch. *American Psychology*, v.51, n.11, p.1134-52, Nov. 1996.
- (10) CARELLO, C., *et al.* Muscle-based perception: theory, research and implications for rehabilitation. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, v.12, n.5, p.339-350, 2008.

- (11) TURVEY, M. T. Dynamics of effortful touch and interlimb coordination. *Journal of Biomechanics*, v.31, n.10, p.873-82, Oct. 1998.
- (12) CARELLO, C. ; TURVEY, M. T. Rotational invariants and dynamic touch. In: HELLER, M. A. (Ed.). *Touch, representation and blindness*. New York Oxford University Press, 2000, p.27-66.
- (13) SOLOMON, H. Y.; TURVEY, M. T.; BURTON, G. Gravitational and muscular variables in perceiving rod extent by wielding. *Ecological Psychology*, v.1, n.3, p.265-300, 1989.
- (14) TRAUTMAN, A. Noether equations and conservation laws. *Communications in Mathematical Physics*, v.6, n.4, p.248-261, 1967.
- (15) LEE, D. N. The optic flow field: the foundation of vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, v.290-B, p.169-179, 1980.
- (16) LEE, D. N.; LISHMAN, J. R. Visual proprioceptive control of stance. *Journal of Human Movement Studies*, v.1, p.87-95, 1974.
- (17) MICHAELS, C. F.; OUDEJANS, R. R. D. The optics and actions of catching fly balls: zeroing out optical acceleration. *Ecological Psychology*, v.4, n.4, p.199-222, 1992.
- (18) GIBSON, E. J. Exploratory behavior in the development of perceiving, acting, and the acquiring of knowledge *Annual Review of Psychology*, v.39, p.1-41, 1988.
- (19) GIBSON, E. J., *et al.* Detection of the transversability of surfaces by crawling and walking infants. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v.13, n.4, p.533-44, Nov. 1987.
- (20) TURVEY, M. T.; SHOCKLEY, K.; CARELLO, C. Affordance, proper function, and the physical basis of perceived heaviness. *Cognition*, v.73, n.2, p.B17-26, Dec. 1999.
- (21) WARREN, W. H., JR. Perceiving affordances: visual guidance of stair climbing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v.10, n.5, p.683-703, Oct. 1984.

- (22) WINTER, D. A. Anthropometry. In: (Ed.). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. New York: Wiley and Sons, Inc, 1990. Anthropometry, p.51-74.
- (23) SOLOMON, H. Y. Movement-produced invariants in haptic explorations: An example of a self-organizing, information-driven, intentional system. *Human Movement Science*, v.7, p.201-223, 1988.
- (24) SOLOMON, H. Y.; TURVEY, M. T.; BURTON, G. Perceiving extents of rods by wielding: haptic diagonalization and decomposition of the inertia tensor. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v.15, n.1, p.58-68, Feb. 1989.
- (25) COOPER, M. M.; CARELLO, C.; TURVEY, M. T. Perceptual independence of whole length, partial length, and hand position in wielding a rod. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v.26, n.1, p.74-85, Feb. 2000.
- (26) FITZPATRICK, P.; CARELLO, C.; TURVEY, M. T. Eigenvalues of the inertia tensor and exteroception by the "muscular sense". *Neuroscience*, v.60, n.2, p.551-68, May. 1994.
- (27) GARRETT, S. R., *et al.* Spatial and physical frames of reference in positioning a limb. *Perception and Psychophysics*, v.60, n.7, p.1206-15, Oct. 1998.
- (28) PAGANO, C. C. ; CABE, P. A. Constancy in Dynamic Touch: Length Perceived by Dynamic Touch Is Invariant Over Changes in Media. *Ecological Psychology*, v.15, n.1, p.1-17, 2003.
- (29) PAGANO, C. C.; FITZPATRICK, P.; TURVEY, M. T. Tensorial basis to the constancy of perceived object extent over variations of dynamic touch. *Perception and Psychophysics*, v.54, n.1, p.43-54, Jul. 1993.
- (30) AMAZEEN, E. L. Perceptual independence of size and weight by dynamic touch. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v.25, n.1, p.102-19, Feb. 1999.
- (31) CARELLO, C., *et al.* Inertial eigenvalues, rod density, and rod diameter in length perception by dynamic touch. *Perception and Psychophysics*, v.60, n.1, p.89-100, Jan. 1998.

- (32) HAJNAL, A., *et al.* Haptic selective attention by foot and by hand. *Neuroscience Letters*, v.419, n.1, p.5-9, May. 2007.
- (33) SOLOMON, H. Y.; TURVEY, M. T. Haptically perceiving the distances reachable with hand-held objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v.14, n.3, p.404-27, Aug. 1988.
- (34) CARELLO, C.; THUOT, S.; TURVEY, M. T. Aging and the perception of a racket's sweet spot. *Human Movement Science*, v.19, p.1-20, 2000.
- (35) PAGANO, C. C., *et al.* Role of the inertia tensor in haptically perceiving where an object is grasped. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v.20, n.2, p.276-85, Apr. 1994.
- (36) CHAN, T. C. The effect of density and diameter on haptic perception of rod length. *Perception and Psychophysics*, v.57, n.6, p.778-86, Aug. 1995.
- (37) TURVEY, M. T., *et al.* Role of the inertia tensor in perceiving object orientation by dynamic touch. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v.18, n.3, p.714-27, Aug. 1992.
- (38) PAGANO, C. C.; CARELLO, C.; TURVEY, M. T. Exteroception and exproprioception by dynamic touch are different functions of the inertia tensor. *Perception and Psychophysics*, v.58, n.8, p.1191-202, Nov. 1996.
- (39) PAGANO, C. C.; GARRETT, S. R.; TURVEY, M. T. Is limb proprioception a function of the limb's inertia eigenvectors? *Ecological Psychology*, v.8, n.1, p.43-69, 1996.
- (40) PAGANO, C. C. ; TURVEY, M. T. The inertia tensor as a basis for the perception of limb orientation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v.21, n.5, p.1070-87, Oct. 1995.
- (41) TURVEY, M. T. Action and perception at the level of synergies. *Human Movement Science*, v.26, n.4, p.657-97, Aug. 2007.
- (42) ABRAVANEL, E. How children combine vision and touch when perceiving the shape of objects. *Perception and Psychophysics*, v.12, n.2A, p.171-175, 1972.

- (43) MICALLEF, C. ; WAY, R. B. Visual dimensional dominance and haptic form recognition. *Bulletin of the Psychonomic Society*, v.7, p.21-24, 1979.
- (44) MILLER, S. Aspects of size, shape and texture in touch: Redundancy and interference in children's discrimination of raised patterns. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, v.27, p.367-381, 1986.
- (45) PICK, H. L., JR.;KLEIN, R. E.; PICK, A. D. Visual and tactual identification of form orientation. *Journal of Experimental Child Psychology*, v.4, n.4, p.391-7, Dec. 1966.
- (46) HOOP, N. H. Haptic perception in preschool children. I. Object recognition. *American Journal of Occupational Therapy*, v.25, n.7, p.340-4, Oct. 1971.
- (47) BAIRSTOW, P. J. ; LASZLO, J. I. Kinaesthetic sensitivity to passive movements and its relationship to motor development and motor control. *Developmental Medicine Child Neurology*, v.23, n.5, p.606-16, Oct. 1981.
- (48) LASZLO, J. I. ; BAIRSTOW, P. J. The measurement of kinaesthetic sensitivity in children and adults. *Developmental Medicine Child Neurology*, v.22, n.4, p.454-64, Aug. 1980.
- (49) SIGMUNDSSON, H.;WHITING, H. T.; LOFTESNES, J. M. Development of proprioceptive sensitivity. *Experimental Brain Research*, v.135, n.3, p.348-52, Dec. 2000.
- (50) KLEVBERG, G. L. ; ANDERSON, D. I. Visual and haptic perception of postural affordances in children and adults. *Human Movement Science*, v.21, n.2, p.169-86, Jul. 2002.
- (51) SHIMIZU, T. ; NORIMATSU, H. Detection of invariants by haptic touch across age groups: rod length perception. *Perceptual and Motor Skills*, v.100, n.2, p.543-53, Apr. 2005.
- (52) CARELLO, C., *et al.* Peripheral neuropathy and object length perception by effortful (dynamic) touch: a case study. *Neuroscience Letters*, v.405, n.3, p.159-63, Sep. 2006.
- (53) BRANDT, B. R. Impaired tactual perception in children with Down's syndrome. *Scandinavian Journal Psychology*, v.37, n.3, p.312-6, Sep. 1996.

- (54) TACHDJIAN, M. O.; MINEAR, W. L. Sensory disturbances in the hands of children with cerebral palsy. *Journal of Bone Joint Surgery American*, v.40-A, n.1, p.85-90, Jan. 1958.
- (55) YEKUTIEL, M.; JARIWALA, M.; STRETCH, P. Sensory deficit in the hands of children with cerebral palsy: a new look at assessment and prevalence. *Developmental Medicine Child Neurology*, v.36, n.7, p.619-24, Jul. 1994.
- (56) VIRJI-BABUL, N., *et al.* Perceptual-motor deficits in children with Down syndrome: implications for intervention. *Down Syndrome Research and Practice*, v.10, n.2, p.74-82, Jul. 2006.
- (57) RICKEN, A. X.; SAVELSBERGH, G. J.; BENNETT, S. J. Interception of moving objects while walking in children with spastic hemiparetic cerebral palsy. *Disability and Rehabilitation*, v.29, n.1, p.69-77, Jan. 2007.
- (58) SAVELSBERGH, G., *et al.* Information movement coupling in children with Down syndrome. In: (Ed.). *D. J. Weeks, R. Chua, & D. Elliott (Eds.), Perceptual-Motor Behavior in Down Syndrome*: Champaign, IL: Human Kinetics., 2000. Information movement coupling in children with Down syndrome., p.251-276
- (59) VAN DER WEEL, F. R.; VAN DER MEER, A. L. H.; LEE, D. N. Measuring dysfunction of basic movement control in cerebral palsy. *Human Movement Science*, v.15, p.253-283, 1996.
- (60) VIRJI-BABUL, N. ; BROWN, M. Stepping over obstacles: anticipatory modifications in children with and without Down syndrome. *Experimental Brain Research*, v.159, n.4, p.487-90, Dec. 2004.
- (61) CHARLTON, J.; IBSEN, E.; LAVELLE, B. M. Control of manual skills in children with Down syndrome. In: (Ed.). *in Weeks, D.J., Chua, R., Elliott D. (Eds). Perceptual-motor behavior in Down syndrome*: Champaign, IL: Human Kinetics, 2000. Control of manual skills in children with Down syndrome, p.25-48
- (62) LESNY, I., *et al.* Sensory disorders in cerebral palsy: two-point discrimination. *Developmental Medicine Child Neurology*, v.35, n.5, p.402-5, May. 1993.
- (63) PORTNEY, L. G.; WATKINS, M. P. *Foundations of Clinical research: Applications to Practice*. New Jersey: Prentice-Hall. 2000

- (64) PIPER, M. C., *et al.* Construction and validation of the Alberta Infant Motor Scale (AIMS). *Canadian Journal of Public Health*, v.83 Suppl 2, p.S46-50, Jul-Aug. 1992.
- (65) GESELL, A. L. *The Child from Five to Ten*: Hamish Hamilton. 1966. 475 p.
- (66) KAUFMAN A.S.; N.L., K. *Kaufman Brief Intelligence Test.* : Pearson Assessments. 1997
- (67) ELIASSON, A. C., *et al.* 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.549-54, Jul. 2006.
- (68) GOLDSTEIN, H. *Multilevel Statistical Models*. London: Griffin. 1999. 192 p.
- (69) LARGO, R. H., *et al.* Neuromotor development from 5 to 18 years. Part 1: timed performance. *Developmental Medicine Child Neurology*, v.43, n.7, p.436-43, Jul. 2001.
- (70) ONLEY, S. J. ; WRIGHT, M. J. Cerebral Palsy. In: DWV, L. (Ed.). *Physical Therapy for Children*. Philadelphia: WB Saunders, 1994. Cerebral Palsy, p.489-523
- (71) BURTON, A. W. Assessing the perceptual-motor interaction in developmentally disabled and non-handicapped children. *Adapted Physical Activity Quaterly*, v.7, p.325-337, 1990.

APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - 1

PROJETO: AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO HAPTICA EM CRIANÇAS COM DESENVOLVIMENTO NORMAL E CRIANÇAS COM DISTÚRBIOS DO DESENVOLVIMENTO

Prezadas mães ou responsáveis, obrigado pelo interesse neste estudo. O nosso objetivo é analisar a capacidade de sua criança de perceber o formato de objetos sem o auxílio da visão.

Para realizar esta pesquisa, nós precisamos que você dê o seu consentimento, permitindo que seu (ua) filho (a) participe do estudo. Após a obtenção do seu consentimento, inicialmente você responderá a um breve questionário para identificarmos o nível sócio-econômico da família da criança. Posteriormente, a criança ficará de pé diante de uma pequena mesa, irá colocar a sua mão em baixo dessa mesa e realizará uma atividade em que ela irá segurar em sua mão pequenas hastes de diferentes formatos e irá balançar (oscilar) essas hastes fazendo movimentos com o punho sem poder ver a haste em sua mão. Depois dessa oscilação, a criança irá responder se essa haste poderia ser usada para puxar um carrinho cheio de balas que está sobre a mesa. No final do teste, a criança levará para casa um saquinho de surpresas.

Todas as crianças serão avaliadas por uma fisioterapeuta, aluna do programa de doutorado em Ciências da Reabilitação da UFMG. O teste será realizado no Laboratório de Desempenho Infantil da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. Sua criança terá que comparecer apenas uma vez para realizar o teste e o tempo de duração será de aproximadamente 30 minutos.

A realização desta pesquisa não oferece riscos para a sua criança. O teste é simples e não induz constrangimento para ela. Ressaltamos que a participação da sua criança neste projeto é inteiramente voluntária e você não receberá compensação financeira ou terá qualquer tipo de despesa participando do estudo.

Após o término da avaliação, você poderá discutir com os pesquisadores os resultados obtidos por sua criança. Além disso, os resultados desse estudo nos ajudarão a compreender melhor as possíveis diferenças na habilidade das crianças de perceber o formato de objetos.

É importante ressaltar que você é livre para consentir na participação ou no abandono do estudo a qualquer momento. Será respeitada a vontade da criança de não querer participar de qualquer um dos testes, mesmo que os pais ou responsáveis tenham concordado com a participação. Você poderá obter qualquer informação sobre este estudo com os investigadores deste projeto ou no Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG. Os telefones encontram-se listados abaixo. Estaremos a sua disposição para responder perguntas ou prestar esclarecimentos sobre o andamento do trabalho.

Caso você concorde que sua criança possa participar do estudo, por favor, assine no espaço indicado abaixo.

Agradecemos a sua colaboração,

Atenciosamente,

Juliana Ocarino

Aluna do Programa de Doutorado em Ciências da Reabilitação

Prof. Sérgio Fonseca, ScD, Departamento de Fisioterapia - UFMG

Prof. Marisa Mancini, ScD, Departamento de Terapia Ocupacional - UFMG

CONSENTIMENTO

Eu, _____ responsável por _____, declaro que li e entendi as informações contidas acima e todas as minhas dúvidas foram esclarecidas. Concordo com a participação de meu filho (a) neste estudo e recebi uma cópia deste formulário de consentimento.

Assinatura da mãe ou responsável

Data

Assinatura da criança (se esta tiver 7 anos ou mais)

Data

Telefones para Contato:

- Juliana de Melo Ocarino: aluna do Programa de Doutorado em Ciências da Reabilitação. Telefone: 3413-8816, 9741-8509
- Prof. Dr. Sérgio Fonseca, Departamento de Fisioterapia da UFMG, fone: 34094705
- Profa. Dra. Marisa C. Mancini, Departamento de Terapia Ocupacional da UFMG, fone: 3409-4790;
- 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

APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - 2

Prezadas mães ou responsáveis, obrigado pelo interesse neste estudo. O nosso objetivo é analisar a capacidade de sua criança de perceber o formato de objetos sem o auxílio da visão.

Para realizar esta pesquisa, nós precisamos que você dê o seu consentimento, permitindo que seu (ua) filho (a) participe do estudo. Após a obtenção do seu consentimento, as crianças passarão, inicialmente, por dois testes. No primeiro, será avaliada sua função cognitiva, ou seja, sua capacidade de entender comandos. Este teste envolverá a identificação de figuras e respostas a algumas charadas. Em seguida, a criança realizará três atividades manuais adequadas para sua idade, com o objetivo de caracterizar a sua função manual. Vocês também responderão a um breve questionário para identificarmos o nível sócio-econômico da família da criança. Posteriormente, a criança realizará uma atividade em que ela irá segurar em sua mão pequenas hastes de diferentes formatos e irá balançar (oscilar) essas hastes fazendo movimentos com o punho sem poder ver o objeto em sua mão. Depois dessa oscilação, a criança irá responder se essa haste poderia ser usada para puxar um carrinho cheio de balas. Essa atividade será atrás de uma cortina. No outro teste, a criança irá oscilar hastes de diferentes comprimentos e irá indicar em um marcador o tamanho das hastes. No final dos testes, a criança levará para casa um saquinho de surpresas.

Todas as crianças serão avaliadas por uma fisioterapeuta, aluna do programa de doutorado em Ciências da Reabilitação da UFMG. Todos esses testes poderão ser realizados no Laboratório de Desempenho Infantil da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. Sua criança terá que comparecer duas vezes para realizar os testes e o tempo de duração será de aproximadamente 40 minutos.

A realização desta pesquisa não oferece riscos para a sua criança. Os testes são simples e não induzem constrangimento para ela. Ressaltamos que a participação da sua criança neste projeto é inteiramente voluntária e você não receberá compensação financeira ou terá qualquer tipo de despesa participando do estudo.

Após o término da avaliação, você poderá discutir com os pesquisadores os resultados obtidos por sua criança em cada um dos testes. Além disso, os resultados desse estudo nos ajudarão a compreender melhor as possíveis diferenças na habilidade das crianças de perceber o formato de objetos. Essas informações poderão ajudar aos profissionais da área de saúde a elaborarem tratamentos com o objetivo de diminuir essas diferenças.

É importante ressaltar que você é livre para consentir na participação ou no abandono do estudo a qualquer momento. Será respeitada a vontade da criança de não querer participar de qualquer um dos testes, mesmo que os pais ou responsáveis tenham concordado com a participação. Você poderá obter qualquer informação sobre este estudo com os investigadores deste projeto ou no Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG. Os telefones encontram-se listados abaixo. Estaremos a sua disposição para responder perguntas ou prestar esclarecimentos sobre o andamento do trabalho.

Caso você concorde que sua criança possa participar do estudo, por favor, assine no espaço indicado abaixo.

Aradecemos a sua colaboração,

Atenciosamente,

Juliana Ocarino
Aluna do Programa de Doutorado em Ciências da Reabilitação

Prof. Sérgio Fonseca, ScD, Departamento de Fisioterapia - UFMG

Prof. Marisa Mancini, ScD, Departamento de Terapia Ocupacional - UFMG

CONSENTIMENTO

Eu, _____ responsável por
_____, declaro que li e entendi as informações
contidas acima e todas as minhas dúvidas foram esclarecidas. Concordo com a
participação de meu filho (a) neste estudo e recebi uma cópia deste formulário de
consentimento.

Assinatura da mãe ou responsável

Data

Assinatura da criança (se esta tiver 7 anos ou mais)

Data

Telefones para Contato:

- Juliana de Melo Ocarino: aluna do Programa de Doutorado em Ciências da Reabilitação. Telefone: 3413-8816, 9741-8509
- Prof. Dr. Sérgio Fonseca, Departamento de Fisioterapia da UFMG, fone: 34094705
- Profa. Dra. Marisa C. Mancini, Departamento de Terapia Ocupacional da UFMG, fone: 3409-4790;
- 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

APÊNDICE C – Cálculos das propriedades inerciais das hastes

Cálculo dos momentos e produtos de inércia das hastes utilizadas no teste de percepção háptica da utilidade funcional de objetos (1)

No presente estudo, a origem do sistema de coordenadas (ponto de rotação) foi estabelecida como sendo sobre a interlinha articular do punho. O eixo Y foi alinhado com o eixo longitudinal da haste, o eixo X foi alinhado horizontalmente e o eixo Z verticalmente.

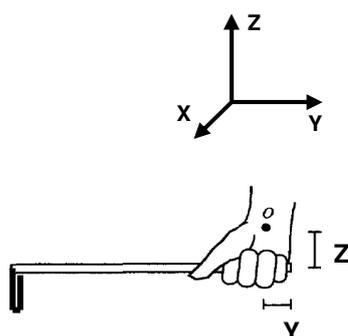


Figura1: Representação esquemática do sistema de coordenadas e do sistema haste-mão (Modificado de Stroop et al. 2000)

Os momentos de inércia (I_{xx} , I_{yy} , I_{zz}) que quantificam a inércia rotacional do objeto em relação aos três eixos ortogonais (X, Y, Z) localizados na articulação do punho, foram calculados de acordo com as seguintes equações:

$$I_{xx} = mL^2/12 + m(y^2 + z^2) \quad \text{Equação 1}$$

$$I_{yy} = mr^2/2 + m(x^2 + z^2) \quad \text{Equação 2}$$

$$I_{zz} = mL^2/12 + m(x^2 + y^2) \quad \text{Equação 3}$$

Onde a variável m é a massa de cada haste, L o comprimento e r o raio das hastes. As variáveis x , y , z de cada fórmula são as distâncias perpendiculares em relação ao sistema de coordenadas localizado no punho. Essas distâncias representam o quanto a haste está desviada em relação ao cada um dos três eixos ortogonais.

Os produtos de inércia (I_{xy} , I_{xz} , I_{yz}) quantificam a inércia rotacional do objeto em direções perpendiculares aos eixos de rotação e refletem a assimetria da distribuição de massa do objeto em relação ao eixo de análise. Os cálculos dos produtos de inércia foram realizados de acordo com as seguintes equações:

$$I_{xy} = -mxy \quad \text{Equação 4}$$

$$I_{xz} = -mxz \quad \text{Equação 5}$$

$$I_{yz} = -myz \quad \text{Equação 6}$$

O primeiro termo das equações (1, 2 e 3) quantifica os momentos de inércia sobre os respectivos centros de massa. O teorema dos eixos paralelos (2) foi utilizado no segundo termo das equações para transformar os momentos de inércia sobre os respectivos centros de massa em momentos e produtos de inércia sobre o ponto de

rotação localizado na articulação do punho. A aplicação deste teorema permite, portanto, quantificar a resistência adicional quando o ponto de rotação não está sobre o centro de massa. Para aplicação do teorema dos eixos paralelos foi definido $x=0$, $y= 0,015\text{m}$ e $z= 0.008\text{m}$ (esses valores são os valores médios das medidas realizadas em cada criança). Como a distância perpendicular da haste na coordenada x é igual a zero, os produtos de inércia I_{xz} e I_{xy} são iguais a zero.

Para as hastes em formato de L, os cálculos dos momentos e produtos de inércia da haste e dos prolongamentos foram calculados separadamente e posteriormente somados. Primeiramente foram calculados os valores de volume da haste e densidade da madeira de acordo com as equações:

$$V= L(\pi)r^2 \quad \text{Equação 7}$$

$$D= m/V \quad \text{Equação 8}$$

Onde V é o volume da haste, L o comprimento, r o raio e D a densidade da haste. Posteriormente, o volume e a massa de cada parte das hastes em formato de L foram calculados e somados para se obter os momentos e produtos de inércia da haste Curta e Longa ao redor de cada eixo.

Cálculo do Torque das hastes utilizadas no teste de percepção háptica da utilidade funcional de objetos

O torque exercido por cada haste foi calculado considerando o efeito da massa das hastes sem nenhuma correção de peso ou presença de prolongamentos (M1) e a distância do centro de massa da haste ao ponto de rotação (L1), o efeito da massa dos prolongamentos (M2) e a suas distâncias ao ponto de rotação (L2) e o efeito da massa do material adesivo (M3) usado para igualar a massa das hastes e sua distância ao ponto de rotação de acordo com a equação:

$$\text{Torque} = M1 \cdot L1 + M2 \cdot L2 + M3 \cdot L3 \quad \text{Equação 9}$$

Cálculo dos momentos e produtos de inércia das hastes utilizadas no teste de percepção háptica de comprimento

Estes cálculos foram realizados utilizando-se as mesmas equações descritas acima. Os momentos e produtos de inércia foram calculados separadamente para cada haste.

Cálculo dos momentos e produtos de inércia do cilindro de aço inox utilizado no teste de percepção háptica de comprimento (3)

Os momentos de inércia do cilindro de aço inox nos eixo X, Y e Z foram calculados de acordo com as seguintes equações:

$$I_{xx} = [m/12 (3r_1^2 + 3r_2^2 + L)] + m(y^2 + z^2) \quad \text{Equação 10}$$

$$I_{yy} = [m/2 (r_1^2 + r_2^2)] + m(x^2 + z^2) \quad \text{Equação 11}$$

$$I_{zz} = [m/12 (3r_1^2 + 3r_2^2 + L)] + m(x^2 + y^2) \quad \text{Equação 12}$$

onde m é a massa do cilindro; r_1 é o raio interno, r_2 o raio externo do cilindro, e L é o comprimento do cilindro. Para utilização do Teorema dos Eixos Paralelos foi considerado $x=0$, $y= 0,015$ + posição do cilindro na haste e $z= 0,008$.

Obtenção dos autovalores e autovetores do tensor de inércia (4)

Os tensores de inércia, representados matematicamente por uma matriz (3x3), obtidos para as hastes do primeiro estudo e para cada haste em sua respectiva condição de distribuição de massa do segundo estudo foram diagonalizados para se obter os principais momentos de inércia (autovalores: I_1 , I_2 e I_3) e suas respectivas orientações ou eixos de simetria (autovetores: e_1 , e_2 e e_3):

$$\begin{pmatrix} I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{yx} & I_{yy} & I_{yz} \\ I_{zx} & I_{zy} & I_{zz} \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{Diagonalização}} \begin{pmatrix} I_1 & & \\ & I_2 & \\ & & I_3 \end{pmatrix}$$

Como a orientação espacial de um objeto cilíndrico pode ser definida pela orientação do seu eixo longitudinal, e a orientação espacial do terceiro autovetor (e_3) é coincidente com a orientação do eixo longitudinal da haste reta, o ângulo entre e_3 e o eixo X foi calculado para cada haste de acordo com a equação:

$$\hat{\text{Ângulo}} = \arccos\left(\frac{\text{dot}(e_3, a1)}{(\text{sqrt}(\text{dot}(e_3, e_3))) * (\text{sqrt}(\text{dot}(a1, a1)))}\right)$$

Onde e_3 é o terceiro autovalor, $a1$ são as coordenadas do eixo X e dot é o produto escalar de dois vetores. Os valores obtidos para as hastes em forma de L foram subtraídos do ângulo encontrado na haste reta para se obter o desvio de e_3 das hastes em L em relação à reta com o objetivo de demonstrar a assimetria da distribuição de massa das hastes em L.

REFERÊNCIAS:

- (1) Fitzpatrick, P., C. et al. Eigenvalues of the inertia tensor and exteroception by the "muscular sense". *Neuroscience*, v.60, n.2, May, p.551-68. 1994.
- (2) Winter, D. A. Anthropometry. In: (Ed.). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. New York: Wiley and Sons, Inc, 1990. Anthropometry, p.51-74
- (3) Stroop, M., et al. Inertia tensor and weight-percept models of length perception by static holding. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v.26, n.3, Jun, p.1133-47. 2000.
- (4) Partner-Enander, E., et al. *The Matlab Hand book*: Addison-Wesley, Harlow, UK. 1996

ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa – UFMG

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

Parecer nº. ETIC 155/08

Interessado(a): Prof. Sérgio Teixeira da Fonseca
Departamento de Fisioterapia
EEFFTO - UFMG

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 16 de maio de 2008, após atendidas as solicitações de diligência, o projeto de pesquisa intitulado "**Avaliação da percepção haptica em crianças com desenvolvimento normal e crianças com distúrbios do desenvolvimento**" 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

ANEXO B – Questionário KBIT2 – Domínio Verbal

Nome: _____ Referência: _____

Tel: _____ DN: _____ Data avaliação: _____

Idade: _____ Diagnóstico: _____

1. CONHECIMENTO VERBAL

Instruções:

“ Olhe para as figuras. Eu direi uma palavra ou farei uma pergunta. Se eu disser uma palavra, aponte para a figura que mostra o que a palavra significa. Se eu fizer uma pergunta, aponte para a figura que mostra a melhor resposta.”

Faixa Etária	Item	Escore/ Resposta		Apontar para
4-5	1	0 1 _____	E	RELÓGIO
	2	0 1 _____	E	DINHEIRO
	3	0 1 _____	C	PRATOS
	4	0 1 _____	F	ESPREMER
6-7	5	0 1 _____	E	PRESENTE
	6	0 1 _____	B	TEMPESTADE
	7	0 1 _____	D	CASTOR
	8	0 1 _____	D	LUZ
	9	0 1 _____	F	O QUE COMBINA COM TROVÃO
8	10	0 1 _____	B	COCHICHAR
	11	0 1 _____	C	O QUE VIVE NA MATA
	12	0 1 _____	A	MULTIDÃO
	13	0 1 _____	A	DAR UM GOLINHO
	14	0 1 _____	D	RÉPTIL
	15	0 1 _____	B	PELUDO
9-10	16	0 1 _____	F	ENTRAR
	17	0 1 _____	A	QUE TE FALA O QUANTO ALGUMA COISA PESA
	18	0 1 _____	E	MACHUCADO
	19	0 1 _____	B	PATINAR
11-15	20	0 1 _____	D	EMPREGADOS
	21	0 1 _____	E	O QUE TE AJUDA A RESPIRAR
	22	0 1 _____	B	ESPORTIVA
	23	0 1 _____	C	CERCA
	24	0 1 _____	D	CANINO
16-90	25	0 1 _____	B	IDOSO
	26	0 1 _____	C	LAVAR
	27	0 1 _____	E	CANTOR
	28	0 1 _____	F	SEGURAR
	29	0 1 _____	C	VITORIOSO
	30	0 1 _____	B	BRILHANTE
	31	0 1 _____	E	UMA CONSTRUÇÃO FAMOSA NA ÍNDIA
	32	0 1 _____	A	PRECIPITAÇÃO
	33	0 1 _____	A	O QUE É INFORMATIVO
	34	0 1 _____	B	RECUPERAR-SE
	35	0 1 _____	F	MAPEAMENTO TOPOGRÁFICO
	36	0 1 _____	B	EMBLEMA

	37	0 1 _____	D	TRANSAÇÃO
	38	0 1 _____	E	UM EVENTO IMPORTANTE DO MOVIMENTO DOS DIREITOS CIVIS
	39	0 1 _____	B	CONSOLAR
	40	0 1 _____	B	EXTRAVAGÂNCIA
	41	0 1 _____	D	ILUMINAR
	42	0 1 _____	B	DISCORDAR
	43	0 1 _____	A	COPIAR
	44	0 1 _____	A	LOCALIZAÇÃO DO CEREBELO
	45	0 1 _____	C	RECEOSO
	46	0 1 _____	B	PROVISÕES
	47	0 1 _____	C	OBSTRUIR
	48	0 1 _____	D	FAZER ESFORÇO
	49	0 1 _____	B	MAGRO
	50	0 1 _____	A	FLEXÍVEL
	51	0 1 _____	D	QUE SERVE PARA UMA FUNÇÃO TÁTIL
	52	0 1 _____	D	MINIATURA
	53	0 1 _____	D	ALEGRIA
	54	0 1 _____	F	ALASCA
	55	0 1 _____	E	CONVÍVIO
	56	0 1 _____	D	ABRANDAR
	57	0 1 _____	B	CENA DE UM ROMANCE DE JOHN STEINBECK
	58	0 1 _____	B	FRUSTRAÇÃO
	59	0 1 _____	F	UMA CIDADE ASSOCIADA COM CARL SANDBURG
	60	0 1 _____	C	PLÁCIDO

_____ Ceiling Item

_____ menos erros

_____ Escore Médio (Max = 60)

2. CHARADAS

Instruções:

- Página 1 e 2 (4 – 6 anos): Olhe para estas figuras

Faixa Etária	Item	Escore	Estímulo	Resposta Correta	Resposta Incorreta
4-6	1 *	0 1	Aponte para algo macio, que você veste nos seus pés	Apontar para meias	
	2 *	0 1	Aponte para algo crocante que os elefantes comem	Apontar para amendoim	
	3	0 1	Aponte para algo que é macio em que você pode dormir	Apontar para cama	
	4	0 1	Aponte para algo que você pode guiar, que flutua	Apontar para barco	
	5	0 1	Aponte para algo que chia e tem um rabo fino	Apontar para rato	
	6	0 1	Aponte para algo redondo, que você usa para comprar coisas	Apontar para moeda	
	7	0 1	Aponte para algo que você tem dois e que ajudam você a correr	Apontar para pés	
	8	0 1	Aponte para algo que é doce e feito de leite	Apontar para sorvete	

Faixa etária: 7-11**Instruções:**

“Eu farei algumas perguntas a você. Responda com apenas uma palavra.

9. O que abana o rabo e late? 0 1

Cachorro, cão, cachorrinho
(peixe)

Resposta incorreta ou sem resposta: “Um cachorro abana o rabo e late, então a resposta é cachorro”.

Repita o item. Se necessário, ensine novamente.

Se o item 1 não foi dado, retorne para o item 1. Se sim, continue no item 10.

10. O que pula, come cenouras e tem orelhas longas? 0 1

Coelho, lebre, coelhinho
(canguru)

Resposta incorreta ou sem resposta: “Um coelho pula, come cenouras e tem orelhas longas, então a resposta é coelho”.

Repita o item. Se necessário, ensine novamente.

Se o item 1 não foi dado, retorne para o item 1. Se sim, continue no item 11.

11. O que é redondo e serve para colocar cereal dentro? 0 1

Tigela, pote, vasilha, prato (leite)

12. O que é brilhante e duro e que as pessoas usam nos dedos? 0 1

Anel, aliança, esmalte, unhas, diamante, dedal, tala (band-aid, curativo)

13. O que fica bem longe, só pode ser visto à noite e brilha no céu? 0 1

Estrela, planet (lua)

12-21 & 66-90

14. O que tem portas e você dorme nele à noite? 0 1

Quarto, dormitório, casa, tenda (cama)

15. O que precisa de cuidado diário, é rosa e mantém seus dentes no lugar? 0 1

Gengiva, aparelho (boca, dentadura)

16. O que tem um balcão de atendimento, lugares para ler e fileiras de livros? 0 1

Biblioteca, livraria (oficina, sala de aula)

17. O que é branco, é colocado na comida e é encontrado na água do mar? 0 1

Sal (açúcar)

18. O que é frágil, vem em pares e algumas vezes é necessário para ler? 0 1

Óculos, lentes (de contato) (lâmpada)

19. O que é feito de material maleável, tem de várias cores e apaga erros? 0 1

Borracha
(elástico)

Faixa etária: 22-65

20. O que derrete, queima e é feito de cera? 0 1

Vela (plástico)

21. O que tem muitos botões, tem portas e sobe e desce? 0 1

Elevador, avião, espaçonave, helicóptero (carro, automóvel)

22. O que é feito de metal, é diferente para pessoas canhotas e é usado por cabeleireiros? 0 1

Tesouras (navalha)

23. O que é colocado em volta da cintura, não tem mangas e é vestido quando se está cozinhando?

- Avental** 0 1
(cinto)
- 24. O que tem botões, cabe na mão e faz contas matemáticas?** 0 1
Calculadora, computador (lápiz, ábaco)
- 25. O que se pode ver através, tem um parapeito e é construído em paredes?** 0 1
Janela, porta (vidro)
- 26. O que viaja grandes distâncias, tem um apito e transporta pessoas e mercadorias?**
- 27. Trem, navio, barco** 0 1
(Caminhão)
- 28. O que é branco no topo, tem uma superfície lisa e cresce em cinco lugares em cada mão?**
Unhas 0 1
(Dedos)
- 29. O que pode ser atravessado a pé ou dirigindo, fica sobre a água e geralmente liga dois pedaços de terra?** **Ponte** 0 1
(Estrada, caminho, rodovia)
- 30. O que é feito de desenhos, passa na televisão e algumas vezes faz as pessoas rirem?**
Desenho animado, animação, algum desenho específico (eg Popeye) 0 1
(Comercial, anúncio, revista em quadrinhos, piadas)
- 31. O que é marrom, é feito a partir de grãos e é encontrado em doces?**
Chocolate, cacau, soja, baunilha, café 0 1
(Amendoim)
- 32. O que é mais velho que livros, contém palavras escritas e é enrolado?** 0 1
Rolo, pergaminho, papiro, escrituras, escritura específica (Torah)
(Papel)
- 33. O que é desenhado ou escrito, é visto em muros ou prédios e é indesejado?**
Pichação, grafite 0 1
(Propagandas, anúncios, placas, letreiros, vandalismo)
- 34. O que tem uma ponta no topo, fica na areia e contém múmias?** 0 1
Pirâmides (Tumba, túmulo, caixão)
- 35. O que algumas vezes é encontrado em listas, faz você dar uma pausa, e nunca aparece no fim de uma frase?**
Vírgula, ponto e vírgula 0 1
(Travessão)
- 36. Quem finge ser outra pessoa, é assistido e tem falas?** 0 1
Ator/atriz, imitador, um ator específico (eg Toni Ramos)
(Palhaço, comediante, prisioneiro)
- 37. O que é um tipo de figura que é pintada e mostra uma pessoa?** 0 1
Retrato, auto-retrato, caricatura, perfil (Mona Lisa)
- 38. O que é feito de papel, tem uma borda colante e guarda algo dentro?** 0 1
Envelope (Fita adesiva, durex, fita crepe)
- 39. O que não é ficção, não é sobre o autor e conta a estória de uma vida?** 0 1
Biografia (Autobiografia, livro)

40. O que tem o nome de uma letra, é necessário para o seu corpo e é encontrado na comida?
Vitamina, vitamina específica (eg Vitamina A) 0 1
 (H₂O, potássio, minerais)
41. O que pode ser dependurado em seu pescoço, pode ser plugado e geralmente tem seis cordas?
Violão, guitarra 0 1
 (Colar)
42. O que é assistido em um teatro, requer um ticket (entrada) e acontece apenas durante o dia?
Matinê 0 1
 (Peça de teatro, espetáculo, filme)
43. O que é dito ou escrito por uma pessoa sincera e frequentemente acontece depois de um erro?
Desculpa, perdão, confissão, reza, oração 0 1
 (Carta, poema)
44. O que é uma parte de um livro, possui um número e não seria encontrado em uma estória pequena?
Capítulo, nota, nota de rodapé 0 1
 (Índice, apêndice)
45. O que surge do pensamento, descreve alguma coisa original e algumas vezes resolve problemas?
Idéia, solução, pensamento, invenção, hipótese 0 1
 (Resposta)
46. O que é procurado por colecionadores, identifica uma pessoa e algumas vezes é escrito em objetos inesperados?
Autógrafo, assinatura
 (Antiguidade, hieróglifos, nome) 0 1
47. O que é feito de papel, comunica uma preferência e é usado para determinar um vencedor?
Cédula, voto 0 1
 (Certificado)
48. O que artistas realizam frente uma pequena platéia e que resulta em uma seleção?
Audição, teste 0 1
 (Solo, apresentação solo)
49. O que pertence a uma pessoa, lugar ou coisa, é informal e geralmente afetuoso?
Apelido 0 1
 (Mascote, animal de estimação, bicho de estimação)

_____ Ceiling Item

_____ menos erros

_____ Escore Médio (Max = 48)

Resultados

Conhecimento Verbal + Charadas = VERBAL → Escore Padrão
 () () () → ()

ANEXO C – Sistema de Classificação de Habilidade Manual

MACS

O que você precisa saber para usar o MACS ?

Sistema de classificação da função manual utilizada para crianças de diferentes idades (4-18 anos).

As principais habilidades para manusear objetos em importantes atividades, por exemplo durante o brincar e lazer, alimentação e vestir.

Em que situações a criança está independente e onde elas precisam de suporte e adaptação ?

- I. Manuseia objetos facilmente e com sucesso. Podem ocorrer no máximo, limitações em desempenhar com facilidade tarefas manuais que requerem velocidade e precisão. Entretanto, qualquer limitação nas habilidades manuais, não restringe a independência nas atividades diárias.
- II. Manuseia a maioria dos objetos, mas realiza com qualidade e/ou velocidade reduzida. Certas atividades podem ser evitadas ou realizadas com alguma dificuldade; formas alternativas de desempenho podem ser usadas, mas as habilidades manuais não restringem a independência nas atividades diárias.
- III. Manuseia objetos com dificuldade; necessita de ajuda para preparar e/ou modificar atividades. Considerando a qualidade e quantidade do desempenho, o mesmo é lento e alcançado com sucesso limitado. As atividades são desempenhadas com independência, se forem adequadas ou adaptadas.
- IV. Manuseia uma seleção limitada de objetos colocados facilmente em situações adaptadas. Desempenha parte das atividades com esforço e com limitado sucesso. Requer contínuo suporte e assistência e/ou equipamento adaptado, mesmo que para realizar parcialmente a atividade.
- V. Não manuseia objetos e tem severa e limitada habilidade para desempenhar até mesmo ações simples. Requer total assistência.

Referência: ELIASSON, AC; KRUMLINDE-SUNDHOLM, L; RÖSLAD, B; BECKUNG, E; ARNER, M.; ÖHRVALL, AM; ROSENBAUM, P. The Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale developmental and evidence of validity and reliability. *Developmental Medicine & Child Neurology*, v. 48, p. 549-554, 2006.

Tradução e Revisão: Zélia Coelho e Marisa Mancini
Depto de Terapia Ocupacional - UFMG - Outubro/2006

Distinções entre os Níveis I e II

Crianças do nível I podem ter limitações no manuseio de objetos muito pequenos, pesados ou frágeis, os quais demandam controle motor fino, ou eficiente coordenação entre as mãos. Limitações podem ser observadas no desempenho da criança em situações novas e pouco familiares. Crianças do nível II desempenham quase todas as mesmas atividades como as crianças no nível I, mas a qualidade no desempenho é diminuída, ou o desempenho é lento. Diferenças funcionais entre mãos podem limitar a eficiência do desempenho. Crianças do nível II geralmente tentam simplificar o manuseio de objetos, por exemplo pelo uso de uma superfície para suporte, ao invés de manusear objetos com ambas as mãos.

Distinções entre os níveis II e III

Crianças do nível II manuseiam a maioria dos objetos, embora lentamente ou com reduzida qualidade de desempenho. Crianças no nível III geralmente necessitam de ajuda para preparar a atividade e/ou requerem que adequações sejam feitas no ambiente, quando suas habilidades para alcançar ou segurar objetos estiverem limitadas. Elas não conseguem desempenhar certas atividades, e seu grau de independência está relacionado ao suporte do contexto ambiental.

Distinções entre os níveis III e IV

Crianças no nível III podem desempenhar atividades selecionadas se a situação estiver preparada e se forem dadas a elas supervisão e tempo suficiente. Crianças no nível IV precisam de ajuda contínua durante a atividade e podem participar mais significativamente em somente partes de uma atividade.

Distinções entre os níveis IV e V

Crianças no nível IV desempenham partes de uma atividade, no entanto elas precisam continuamente de ajuda. Crianças no nível V podem participar melhor com um simples movimento em situações especiais, por exemplo, apertando um simples botão.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)