

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA**

**INFLUÊNCIA DE RESTRIÇÕES INTRÍNSECAS E  
EXTRÍNSECAS NO ALCANCE MANUAL DE  
LACTENTES**

**Raquel de Paula Carvalho**

São Carlos  
2007

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA**

**INFLUÊNCIA DE RESTRIÇÕES INTRÍNSECAS E  
EXTRÍNSECAS NO ALCANCE MANUAL DE  
LACTENTES**

Raquel de Paula Carvalho  
Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Eloísa Tudella

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Fisioterapia, área de concentração: Processos de Avaliação e Intervenção em Fisioterapia.

São Carlos  
2007

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

C331ir

Carvalho, Raquel de Paula.

Influência de restrições intrínsecas e extrínsecas no alcance manual de lactentes / Raquel de Paula Carvalho. -- São Carlos : UFSCar, 2007.  
99 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2007.

1. Lactentes. 2. Alcance manual. 3. Desenvolvimento motor. 4. Postura. 5. Restrições intrínsecas e extrínsecas. I. Título.

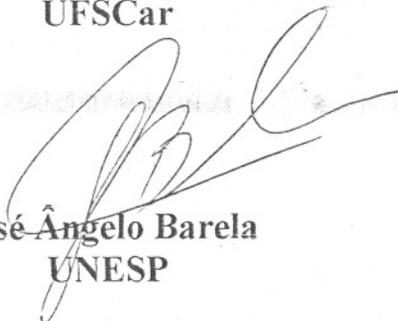
CDD: 613.0432(20ª)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA PARA DEFESA DE TESE DE DOUTORADO DE Raquel de Paula Carvalho, APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, EM 29 DE MARÇO DE 2007.

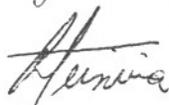
BANCA EXAMINADORA:



Eloísa Tudella  
UFSCar



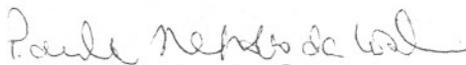
José Ângelo Barela  
UNESP



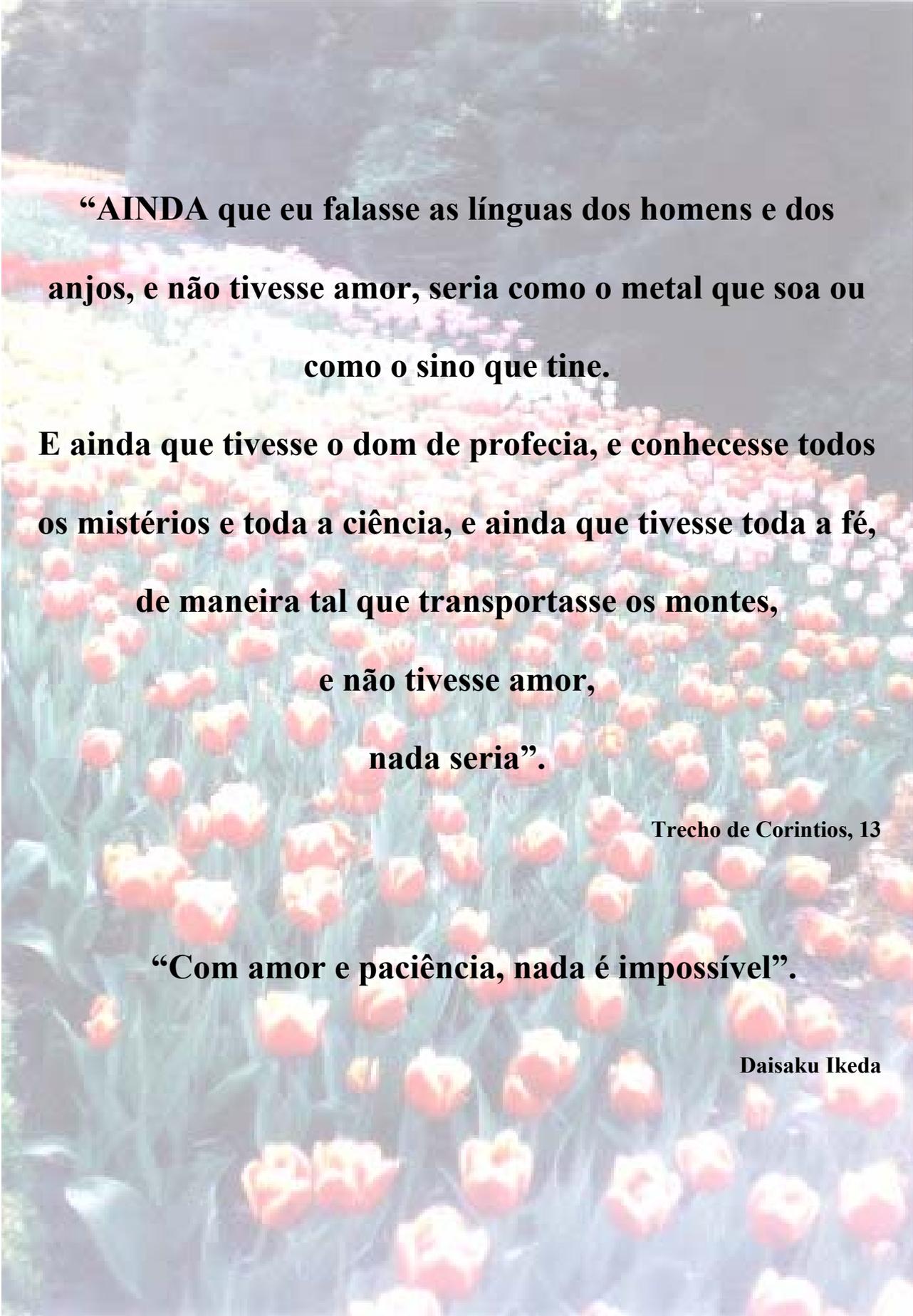
Luis Augusto Texeira  
USP



Nelci Adriana C.F. Rocha  
UFSCar



Paula Hentschel Lobo da Costa  
UFSCar



**“AINDA que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos, e não tivesse amor, seria como o metal que soa ou como o sino que tine.**

**E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse amor, nada seria”.**

**Trecho de Corintios, 13**

**“Com amor e paciência, nada é impossível”.**

**Daisaku Ikeda**

Dedico esse trabalho à minha família,  
Laura, Valdir, Érica, Ulisses, Andréia e Lara,  
que sempre estiveram ao meu lado nesta caminhada.

## Agradecimentos

---

À Deus, nosso Pai, por ter me iluminado nesta longa trajetória, pelas pessoas que encontrei durante essa caminhada e por ter me ajudado a superar todos os obstáculos. Hoje percebo que tudo valeu a pena!

Aos meus pais, Valdir e Laura, por terem me colocado no mundo, pelo amor e dedicação constantes. Vocês foram as primeiras pessoas a acreditarem que eu seria capaz. Nunca poderei descrever em palavras o quanto sou grata por tudo que vocês fazem por mim. Obrigada! Amo vocês do fundo do meu coração.

Aos meus irmãos, Ulisses e Érica, minha cunhada Andréia e minha sobrinha Lara. Obrigada pela torcida e incentivo constantes. A minha avó Almeirinda, obrigada pelas orações. Onde quer que eu esteja, levo vocês sempre no meu coração! Amo vocês!

A minha querida orientadora, Eloísa Tudella. Se eu fosse uma árvore, certamente você seria o jardineiro. Por acreditar que essa árvore pudesse um dia produzir frutos, você a regou, adubou e, algumas vezes, precisou podá-la. Hoje, os frutos estão aqui: um trabalho que felizmente poderá ser conhecido internacionalmente e uma pessoa mais madura. Reconheço que, sem você, tudo isso não seria possível. Muito obrigada por tudo! Foi uma honra ter você como minha orientadora. Que Deus te ilumine sempre!

Ao prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros, que além de disponibilizar o sistema de análises, orientou em relação às rotinas e discutiu a escolha das variáveis. Sua ajuda foi muito importante para a concretização deste trabalho. Obrigada.

Aos professores doutores José A. Barela, Luís A. Teixeira, Nelci Adriana C. F. Rocha e Paula H. Lobo da Costa, que aceitaram participar da banca desta defesa de doutorado. Aos professores Eliane Mauerberg-de-Castro, Marisa C. Mancini e Ricardo M. L. Barros, por aceitarem participar como suplentes da banca de doutorado. E novamente, aos professores Eliane Mauerberg-de-Castro e José A. Barela, por suas colocações e sugestões na banca de qualificação.

À Solange, por suas correções e traduções para o inglês. Muito obrigada!

## Agradecimentos

---

Ao Dr. Geert Savelsbergh, pela confiança e por ter me ensinado tanto, em tão pouco tempo. Gostaria de expressar toda minha admiração e respeito. Jamais esquecerei esses meses de convivência, orientação e oportunidade de crescimento profissional. Muito obrigada!

A família NENEM:

Adriana, obrigada por sua amizade, conversas e auxílio. Nunca vou me esquecer das nossas “viagens” até o bairro Redenção para buscar bebês, das coletas, do período que moramos juntas, dos congressos... Lembranças que ficarão pra sempre.

Karina, obrigada pela amizade, respeito e consideração. Você é uma amiga muito especial! Jamais esquecerei todas as conversas e, principalmente, festas e churrascos.

Fernanda, agradeço por, depois de tanto tempo de convivência, termos ficado tão amigas. A sua amizade, principalmente nos últimos meses, foi muito importante para mim. Jamais esquecerei!

Jocelene, obrigada pela sua amizade e consideração. Fico muito feliz por poder dividir um pouco minha família com você.

Aline, obrigada pela sua amizade e por ter compartilhado comigo tantos momentos, felizes e tristes, em todos esses anos de convivência.

Carol, obrigada pela amizade e confiança. Acompanho seu trabalho há alguns anos e, tenho certeza, que todo seu esforço será recompensado.

Helena, agradeço toda ajuda, amizade e confiança. Foi muito trabalhar com você.

Vanyzia e Maria Fernanda, agradeço por terem me socorrido quando eu estava longe, enviando artigos, mandando recados e providenciando minha passagem de volta.

Ana Carolina, Cristiano, Diogo, Igor, Jady, Milena, Nair, Priscila, Regislene e Sandra, agradeço pela amizade e convivência.

Ao programa de Pós-graduação em Fisioterapia da UFSCar, especialmente às professoras, Aparecida M. Catai, Tânia F. Salvini e Rosana Mattioli, que foram tão prestativas comigo.

Aos mestrandos e doutorandos do PPG-FT, obrigada pela convivência. Agradeço especialmente aos meus grandes amigos Marcos Miagui e Ana Raquel, que, por muitas vezes, me socorreram nos momentos de dúvida e insegurança. À Fernanda Romaguera e Fabiana Abraão, por sua compreensão e ajuda.

Aos amigos que conheci na Holanda

## Agradecimentos

---

Pedro e Vitor, pela amizade e acolhida.

João e José, meus queridos, gosto muito de vocês. Obrigada pela amizade.

Fernanda e Gustavo, obrigada pelos bons momentos que passamos juntos. Fico muito feliz em tê-los com amigos. Fer, obrigada por ter me emprestado seu ombro tantas vezes. Jamais esquerei!

Rolf, obrigada por tudo! Minha vida na Holanda não seria a mesma sem você. Agradeço por compartilhar comigo tantos momentos felizes. Espero que nossas vidas se cruzem novamente!

À Capes, pelo apoio financeiro, principalmente pela oportunidade de realizar o estágio na Holanda.

Aos bebês e seus pais, agradeço por sua participação neste estudo.

**Carvalho, R. P. (2007). Influência de restrições intrínsecas e extrínsecas no alcance manual de lactentes jovens. Tese de doutorado. Universidade Federal de São Carlos.**

O objetivo do presente trabalho foi verificar a influência de restrições intrínsecas e extrínsecas no alcance de lactentes de 4 a 6 meses. As restrições intrínsecas consideradas foram idade, nível de habilidade e experiência obtida através da prática espontânea. A relação entre o torque muscular necessário para a realização do alcance e o torque gravitacional foi a restrição extrínseca analisada, a qual foi manipulada através das diferentes orientações corporais. Variáveis cinemáticas e qualitativas dos alcances realizados nas posições supina, reclinada e sentada foram analisadas em três estudos diferentes, com o propósito de verificarmos como as restrições influenciam no alcance de lactentes jovens. Os resultados indicaram que a orientação corporal afetou o comportamento de alcance de lactentes aos 4 meses. No entanto, ao considerarmos o nível de habilidade ao invés da idade, o alcance foi influenciado pelas orientações corporais somente para os lactentes menos habilidosos. Sugerimos que o nível de habilidade é uma restrição mais relevante que idade no período de aquisição do alcance. Os parâmetros temporais e espaço-temporais do alcance mostraram-se mais sensíveis às restrições impostas pelas orientações corporais, idade e níveis de habilidade. A posição sentada favoreceu o alcance para lactentes menos-habilidosos no período de aquisição, e a preensão para os mais-habilidosos após um mês de prática espontânea. Esses achados sugerem que o nível de habilidade, experiência no alcance e diferentes orientações corporais influenciam o alcance de lactentes jovens. Por isso, essas restrições devem ser consideradas nas pesquisas sobre o desenvolvimento do alcance. Esse trabalho suporta a idéia de que a confluência das restrições determina as capacidades de ação de lactentes jovens e que mudanças nessa confluência podem gerar mudanças na ação.

Palavras chave: alcance, orientação corporal, restrições.

**The influence of intrinsic and extrinsic constraints on reaching movements in young infants (2007). Doctorate thesis. Federal University of São Carlos.**

The aim of the current research was to examine the influence of intrinsic and extrinsic constraints on reaching movements in 4-6-month-old infants. Age, level of skill and experience gained by spontaneous practice of reaching were the intrinsic constraints analyzed. The relationship between muscular torque required for reaching and gravitational torque was the extrinsic constraint, which was manipulated by different body orientations. Kinematical and qualitative variables for movements performed in supine, reclined and seated positions were analyzed in three different studies in order to verify how constraints affect young infants' reaching. The results indicate that body orientation affected reaching behavior in 4-month-old infants. However, when considering the level of skill rather than age, body orientation was shown to affect reaching behavior during its emergence only in less-skilled reachers. The level of skill is thus suggested to be a more relevant constraint than age in the acquisition of reaching. Temporal and spatio-temporal parameters of reaching were more sensitive to constraints imposed by body orientation, age and level of skill. Seated position elicited both reaching in less-skilled reachers during the behavior acquisition and grasping in more-skilled reachers after spontaneous practice. These findings suggest that level of skill, experience in reaching, and body orientation may affect reaching behavior in young infants. These constraints should therefore be taken into account when examining the development of infant reaching. This work supports the idea that the confluence of constraints determines the young infants' action and that a change in this confluence can eventuate in a change in action.

*Keywords:* reaching; body orientation; constraints.

<b>Contextualização</b> .....	01
<b>Estudo 1</b> : Os parâmetros espaço-temporais do movimento de alcance são influenciados pela orientação corporal.....	08
<b>Estudo 2</b> : Controle precoce do alcance: efeitos da experiência e orientação corporal.....	25
<b>Estudo 3</b> : As orientações corporais influenciam os ajustes proximais e distais do alcance de lactentes .....	44
<b>Considerações Finais</b> .....	59
<b>Implicações para a fisioterapia</b> .....	63
<b>Referências</b> .....	65
<b>Apêndices</b> .....	71

<b>Tabela 1:</b> Frequência de alcances realizados aos 4, 5 e 6 meses, nas posições supina e sentada.....	17
<b>Tabela 2:</b> Frequência de alcances na orientação supina para cada nível de habilidade (menos- e mais-habilidosos) .....	33
<b>Tabela 3:</b> Frequência de alcances e idade (em dias) para os lactentes menos- e mais-habilidosos na aquisição do alcance (TP1) e após um mês de prática (TP2) .....	34
<b>Tabela 4:</b> Mediana da duração (s), índice de desaceleração, índice de retidão, número de unidades de movimento, velocidade média (m/s) e velocidade no toque (m/s), em cada orientação corporal para os lactentes menos- e mais-habilidosos na aquisição do alcance (TP1) e após um (TP2) e dois meses (TP3) de prática.....	38

---

<b>Figura 1:</b> Localização aproximada do centro rotacional (CR) e do centro de massa (CM) do membro superior esquerdo nas orientações corporais sentada (A) e supina (B).....	4
<b>Figura 2:</b> Marcador esférico retro-reflexivo. ....	13
<b>Figura 3:</b> Cadeira na qual o lactente foi posicionado.....	13
<b>Figura 4:</b> Volume usado para calibração do sistema de análise de imagens.....	14
<b>Figura 5:</b> Brinquedos utilizados como estímulo ao alcance.....	14
<b>Figura 6:</b> Desenho esquemático do posicionamento da cadeira e das câmeras....	15
<b>Figura 7A-D:</b> Mediana da duração (A), índice de retidão (B), tempo de desaceleração (C) e velocidade média (D) dos alcances dos lactentes aos 4, 5 e 6 meses.....	18
<b>Figura 8A-D:</b> Mediana para duração (A), índice de retidão (B), tempo de desaceleração (C) e velocidade média (D) do alcance nas posições supina e sentada, aos 4, 5 e 6 meses.....	20
<b>Figura 9:</b> Resumo das comparações e diferenças entre- e intra- grupos.....	35
<b>Figura 10A-E:</b> Média e desvio padrão da frequência de alcances para os lactentes menos- e mais-habilidosos na aquisição do alcance (TP1) e após um (TP2) e dois meses (TP3) de prática.....	36
<b>Figura 11:</b> Desenho esquemático do critério de classificação para mãos próximas (A) e longe do corpo (B), no início do alcance (adaptada de Savelsbergh & Van der Kamp, 1994).....	51
<b>Figura 12:</b> Porcentagem de alcances unimanuais e bimanuais nas posições supina (Su), reclinada (Re) e sentada (Se), no mês de aquisição do alcance e após prática espontânea para lactentes (A) menos e (B) mais habilidosos.....	52
<b>Figura 13:</b> Porcentagem de mão aberta, fechada e semi-aberta no início do alcance, nas posições supina (Su), reclinada (Re) e sentada (Se), no início do alcance e após prática espontânea para lactentes (A) menos e (B) mais habilidosos.....	53
<b>Figura 14:</b> Porcentagem de alcances iniciados com as mãos próximas e longe do corpo, nas posições supina (Su), reclinada (Re) e sentada (Se), no início do alcance e após prática espontânea para lactentes (A) menos e (B) mais habilidosos.....	54
<b>Figura 15:</b> Porcentagem de alcances com e sem preensão, nas posições supina (Su), reclinada (Re) e sentada (Se), no início do alcance e após prática espontânea para lactentes (A) menos- e (B) mais-habilidosos.....	55

<b>Apêndice 1</b> - Carvalho, R. P., Tudella, E., & Savelsbergh, G. J. P. (2007). Spatio-temporal parameters in infant's reaching movements are influenced by body orientation, <i>Infant Behavior &amp; Development</i> , 30, 26-35.....	72
<b>Apêndice 2</b> - Aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos, autorizando a realização da pesquisa.....	82
<b>Apêndice 3</b> - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, por meio do qual os responsáveis autorizaram a participação do lactente no estudo.....	83
<b>Apêndice 4</b> - Carvalho, R.P., Tudella E., Caljouw, S. R., Savelsbergh, G.J.P. 2007. Early control of reaching: effects of experience and body orientation. <i>Infant Behavior &amp; Development</i> .....	84



**Contextualização**

O primeiro ano de vida é considerado o período de maior e mais rápido desenvolvimento do lactente, quando importantes habilidades fundamentais são adquiridas. Os principais sistemas comportamentais que se desenvolvem são: (1) comunicação e interação, que os adultos introduzem ao lactente por meio de gestos, expressões faciais, vocalizações e ações com significado; (2) alcance, prensão e manipulação de objetos, os quais permitem a exploração do mundo pelo lactente; e (3) a locomoção, que promove a ampliação do ambiente a ser explorado, aumentando seus conhecimentos sobre o mundo (Gibson & Pick, 2000).

O alcance manual pode ser definido como o movimento direcionado do membro superior a um objeto, sendo finalizado quando a mão toca este objeto (Thelen Corbetta & Spencer, 1996). Sendo o alcance um dos principais comportamentos adquiridos no primeiro ano de vida, o presente estudo usará essa habilidade para verificar a influência de fatores intrínsecos e extrínsecos no desenvolvimento motor de lactentes jovens. O alcance de objetos foi a habilidade motora selecionada devido sua importância em um contexto social, pois permite a exploração do mundo por meio das mãos, e na questão da sobrevivência, para que o lactente conduza a mão até o alimento para pegá-lo e leva-lo à boca. Além disso, o estudo do alcance permite a observação de como os lactentes resolvem os problemas referentes ao controle motor de seus membros superiores. Para melhor abordar o tema do presente estudo, faz-se necessário discutir o conceito de restrições, uma vez que estas estão intimamente relacionadas à emergência e desenvolvimento da habilidade de alcance, além de construir um fundo teórico para compreendermos a interação entre lactente e ambiente por meio do alcance.

### *Conceito de Restrições*

Restrições, segundo Newell (1986), são fatores que delimitam ou estabelecem limites para o controle e a coordenação de uma ação. Newell distinguiu três categorias de restrições cuja interação determina o desenvolvimento da coordenação, que são as restrições do organismo, ambiente e tarefa. Segundo Savelsbergh e Van der Kamp (1993), as restrições devem ser definidas sob o complexo organismo-ambiente, sendo as possíveis ações resultado da interação entre as propriedades do organismo e do ambiente.

Para melhor compreender como as restrições intrínsecas e extrínsecas influenciam o alcance, faz-se necessário descrever essas três categorias de restrições – do organismo, ambiente e tarefa, além de indicar como elas serão abordadas no presente trabalho.

---

Como restrições do organismo, temos as características físicas, neurológicas e comportamentais da criança, as quais abrangem, por exemplo, o tamanho da mão, a maturidade do sistema visual e o controle da motricidade dos membros superiores. Estudos sobre o desenvolvimento motor indicam a existência de grande variabilidade inter e intra-indivíduos no curso do desenvolvimento. Por exemplo, Savelsbergh, Bennett, Angelakopoulos e Davids (2005), ao avaliarem crianças de 9 a 10 anos, observaram diferenças no desempenho dessas crianças de mesma faixa etária em relação à capacidade de apanhar uma bola arremessada em sua direção. De acordo com Rosengren, Savelsbergh e Van der Kamp (2003), a aquisição de um comportamento não é fixada pela idade, mas resulta da interação entre as restrições. Por isso, o comportamento deve ser examinado no contexto da tarefa que o lactente está tentando desempenhar.

São consideradas restrições da tarefa o objetivo da ação e a dinâmica do movimento em execução (Newell, 1986). Como exemplo, o alcance em lactentes jovens pode ocorrer com o objetivo de preensão ou tentativa de bater no objeto para que este seja arremessado para longe.

As restrições do ambiente envolvem fatores relacionados às leis da natureza (Van Hof, 2005), como força da gravidade e temperatura. Um desses fatores será foco de interesse do presente trabalho, que é a influência do vetor força da gravidade no movimento de alcance manual, a qual será manipulada por meio do posicionamento do lactente em diferentes orientações corporais. Ao alterarmos a orientação do lactente no espaço, é modificada a distância perpendicular entre o centro rotacional e o centro de massa do membro superior do lactente. Consequentemente, o torque muscular necessário para a realização da flexão de ombro será alterado de acordo com a orientação corporal do lactente, seja esta supina, reclinada ou sentada. Convém ressaltar que a mudança na posição corporal não implica em alteração da força da gravidade, uma vez que, como sabemos, esta é constante. As diferentes orientações corporais alteram a relação entre força da gravidade e torque muscular necessário para a realização do movimento. Por ser a gravidade um fator externo ao organismo, no presente estudo, consideramos esta variável uma restrição extrínseca.

Para que o lactente consiga conduzir a mão até tocar o objeto, é necessário que ele esteja apto a resolver os problemas referentes à tendência do membro superior em oscilar (Out, Van Soest & Hopkins, 1997) e a produção de quantidade necessária de torque frente à força exercida pela gravidade (Konczak, Borutta & Dichgans, 1997). Em outras palavras, o lactente precisa aprender a controlar o movimento de seus membros superiores para que o alcance seja finalizado com o toque no objeto. Consideremos o lactente com seus membros

superiores posicionados com  $0^\circ$  de flexão de ombro e cotovelo. Quando o lactente encontra-se na posição supina, o torque muscular necessário para o início do movimento de alcance é maior porque a distância perpendicular entre o centro de massa do membro superior e o centro rotacional, localizado no ombro, é maior que em outras posições (Figura 1A). Além disso, o membro superior pode ser comparado a um pêndulo invertido, ou seja, o centro de massa encontra-se acima do centro rotacional. Dessa forma, o membro superior apresenta tendência a oscilar, sendo que a gravidade amplifica essa oscilação (Out, Van Soest, Savelsbergh & Hopkins, 1998).

Na posição sentada (Figura 1B), a distância entre o centro de massa do membro superior e o centro rotacional é menor, e por isso, o torque muscular necessário para a realização do movimento é também menor quando comparado à posição supina. Além disso, o centro de massa do membro superior encontra-se abaixo do centro rotacional, sendo as perturbações equilibradas pela força da gravidade. Tal fato já é aceito e confirmado pela literatura (Rochat, 1992; Savelsbergh & Van der Kamp, 1994; Out et al., 1998).

Na posição reclinada, a distância entre o centro de massa do membro superior e o centro rotacional é intermediária entre aquelas das posições supina e sentada. Com isso, o torque muscular necessário para a realização do movimento de alcance na posição reclinada é menor em comparação à posição supina, e maior em relação à posição sentada. Resumindo, iniciar o alcance na posição reclinada será mais fácil que na posição supina e mais difícil que na posição sentada.

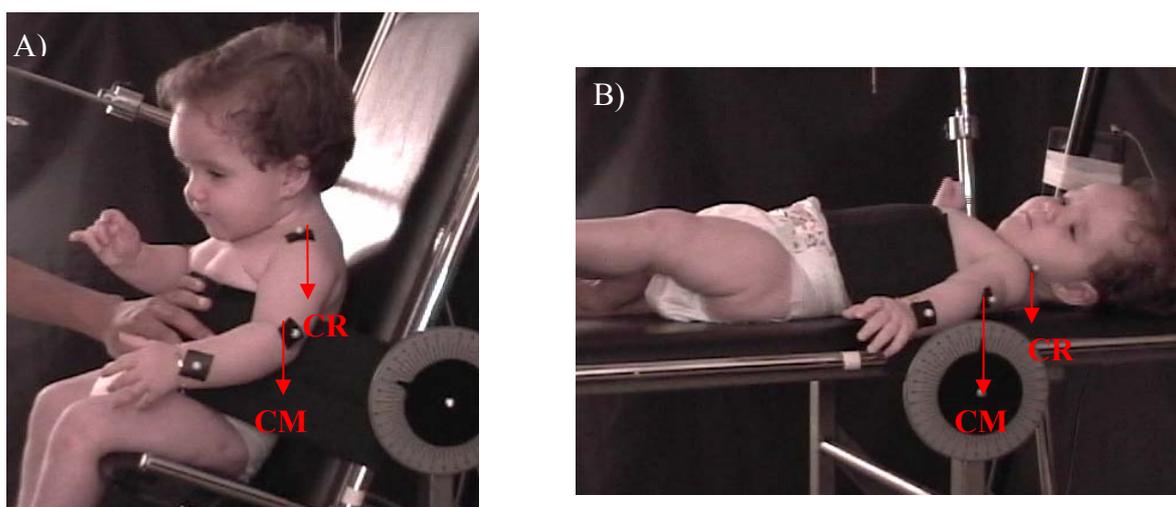


Figura 1: Localização aproximada do centro rotacional (CR) e do centro de massa (CM) do membro superior esquerdo nas orientações corporais sentada (A) e supina (B).

Como o comportamento resulta da interação entre as restrições do organismo, ambiente e tarefa, mudanças na confluência dessas restrições podem resultar em mudanças do comportamento (Newell, 1986; Rosengren et al., 2003; Van Hof, Van der Kamp, Caljouw & Savelsbergh, 2005). Dessa forma, o enfoque deste trabalho será a influência das restrições intrínsecas e extrínsecas no alcance de lactentes, e como as mudanças na interação entre essas restrições afetam os parâmetros cinemáticos e qualitativos do movimento. Para tanto, torna-se necessária a utilização de um referencial teórico para compreendermos como os lactentes realizam o movimento alcance, de acordo com a percepção das informações providas do ambiente e sua dinâmica intrínseca, que reflete a tendência espontânea de coordenação do indivíduo (Zanone, Kelso & Jeka, 1993).

### *Abordagem ecológica*

Baseados nas informações levantadas sobre o conceito de restrições, verificamos que a confluência das restrições do organismo, ambiente e tarefa determina as capacidades de ação do indivíduo. Além disso, a interação entre essas restrições também influenciam a percepção do indivíduo sobre seu ambiente (Van Hof, 2005). Por exemplo, restrições impostas pelas propriedades físicas dos objetos podem influenciar no comportamento de alcance e preensão de lactentes. Rocha, Silva e Tudella (2006a) verificaram que objetos maleáveis favoreceram a realização de alcances seguidos de preensão, em comparação a objetos rígidos, indicando que as restrições impostas pelas propriedades dos objetos foram percebidas pelo lactente e resultaram em mudanças na ação.

Essa relação entre percepção e ação é baseada no modelo teórico conhecido como Abordagem Ecológica, proposta por Gibson (J.J. Gibson, 1979; E. J.Gibson, 1969). J. J. Gibson sugere que existe uma relação de reciprocidade entre percepção e ação. A informação guia a ação e através da ação novas informações tornam-se avaliáveis pelo executor (Savelsbergh & Van der Kamp, 1993). Em outras palavras, as ações precisam ser restringidas pela percepção do ambiente e, por outro lado, a informação que especifica o ambiente é a base para a ação motora (Barela, 2001).

Desde o nascimento, o recém-nascido é capaz de perceber o ambiente, pessoas e eventos que acontecem a sua volta (Jouen & Molina, 2005; Kawai, Sabesbergh & Wimmers, 1999; Streri & Féron, 2005). De acordo do Gibson e Pick (2000), a abordagem ecológica assume que o ambiente é rico em informações amplas e estruturadas que especificam *layout*, superfícies, objetos e eventos do mundo. Dessa forma, a percepção passa a ser entendida como “direta”, sem a necessidade da criação de uma representação mental do mundo por meio

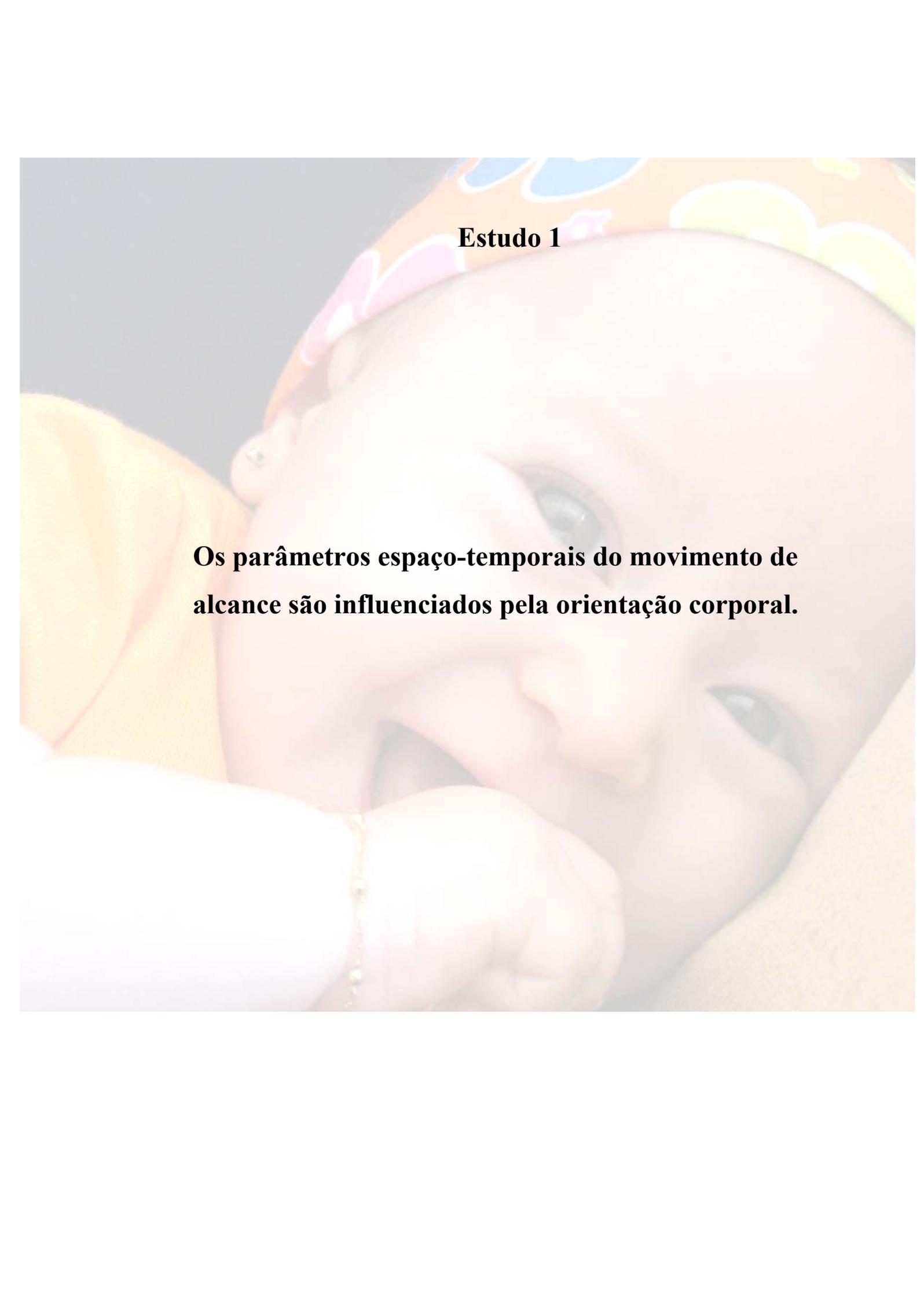
da cognição. Reed (1982) relata que Gibson desenvolveu a idéia de que as ações são realizações do que o ambiente oferece ao animal e que o sistema perceptual atua para eleger informações sobre os *affordances*. Segundo Gibson (1979), *affordance* pode ser definido como o que o ambiente oferece ou promove ao animal, seja bom ou ruim. *Affordance* une percepção à ação, criatura ao seu ambiente. Os lactentes não são capazes de captar todos os *affordances* ao nascimento devido a imaturidade dos sistemas orgânicos. Ao contrário, eles usarão aproximadamente todo o primeiro ano de vida para aprender sobre os *affordances*, através de ações exploratórias (Gibson, 1988; Savelsbergh & Van der Kamp, 1993). Esse processo de exploração e descoberta dos *affordances* é conhecido como aprendizagem perceptual.

A aprendizagem perceptual ocorre por meio da exploração, a qual permite que o lactente conheça os *affordances* e suas próprias capacidades de ação. Quando engajados na atividade exploratória, os lactentes usam seus sistemas de percepção e ação, através de repetidos ciclos percepção-ação, para agir de acordo com o *affordance* oferecido pelo ambiente. A partir do momento que os lactentes conseguem controlar esse ciclo de percepção-ação, suas tarefas tornam-se mais específicas e o comportamento, mais controlado (Gibson & Pick, 2000). Convém destacar que essa exploração e conseqüente aprendizagem ocorrem utilizando-se a visão, audição, tato, olfato, paladar e, principalmente, propriocepção. Turvey e Fitzpatrick (1993) relatam que, por meio dos movimentos espontâneos, os lactentes aprendem a controlar seus movimentos para que estes se tornem direcionados a um objetivo. No caso do alcance, somente após aproximadamente 4 meses de repetição dos movimentos exploratórios, desde o nascimento, o lactente estará apto a conduzir sua mão até o objeto apresentado. Para que isso aconteça, será necessário, além da maturação dos sistemas, repetidos ciclos de percepção-ação, para que ele aprenda a controlar seus movimentos e realizá-lo com alguma intenção.

Diante do exposto, o presente trabalho buscou explorar a influência de restrições intrínsecas e extrínsecas no desenvolvimento da ação de alcançar objetos, por meio de três estudos. No estudo 1, foi verificado o alcance dos lactentes posicionados em diferentes orientações corporais, nas idades de 4, 5 e 6 meses. Neste caso, analisamos como restrição intrínseca um marco temporal específico, o qual foi representado pela idade do lactente. Baseados no estudo 1, observamos que lactentes de mesma faixa etária apresentavam alcances mais e menos refinados. Considerando que a idade não seria um bom indicador do grau de refinamento do alcance, foi realizado um segundo estudo. No estudo 2, lactentes de mesma faixa etária foram divididos em dois grupos, denominados como menos e mais-habilidosos, de

---

acordo com sua capacidade de realizar alcances na posição supina. Dessa forma, no estudo 2, os parâmetros cinemáticos dos alcances realizados em diferentes orientações corporais foram analisados de acordo com o nível de habilidade do lactente e o tempo de experiência de alcance. Como complemento ao estudo 2, o estudo 3 analisou as variáveis categóricas do alcance nas diferentes orientações corporais, também em relação ao nível de habilidade e tempo de experiência. Nos três estudos deste trabalho, a restrição extrínseca considerada foi a influência do vetor força da gravidade sobre o torque muscular necessário para a realização do movimento de alcance.



## **Estudo 1**

**Os parâmetros espaço-temporais do movimento de alcance são influenciados pela orientação corporal.**

---

**Resumo**

Muitos estudos têm demonstrado que a posição sentada favorece a execução de movimentos de alcance, quando comparada à posição supina. O objetivo deste estudo longitudinal foi verificar o efeito das posições sentada e supina nos parâmetros espaço-temporais do alcance de lactentes de 4 a 6 meses. As tentativas de alcance de quatro lactentes foram avaliadas em ambas as posições. Foram analisados 235 alcances por meio da reconstrução tridimensional do movimento. Nossos resultados mostraram aumento na frequência de alcances e índice de retidão com o aumento da idade. Diferenças significativas entre as posições foram observadas aos 4 meses, quando a frequência aumentou e a duração e tempo de desaceleração diminuíram na posição sentada. Não houve diferenças significativas entre as posições aos 5 e 6 meses. Esses achados sugerem que lactentes jovens estão aptos a alterar os parâmetros cinemáticos do alcance para se adaptarem às restrições intrínsecas e extrínsecas (idade e posição).

Palavras chave: alcance, cinemática, orientação corporal, supina, sentada.

Baseado no artigo: Carvalho, R. P., Tudella, E., & Savelsbergh, G. J. P. (2007). Spatio-temporal parameters in infant's reaching movements are influenced by body orientation. *Infant Behavior & Development*, 30, 26-35 (apêndice 1).

## 1. Introdução

Nos últimos 20 anos, pesquisadores da área de desenvolvimento motor têm direcionado seus estudos para o processo de desenvolvimento, buscando entender como os lactentes se adaptam às restrições intrínsecas e extrínsecas em relação à idade (Clark & Whittall, 1989; Rosengen, Savelsbergh, & Van der Kamp, 2003; Van der Kamp, Oudejans & Savelsbergh, 2003).

O conceito de restrições foi formulado por Newell (1986), o qual distinguiu três categorias de restrições cuja interação determina o desenvolvimento da coordenação, que são: restrições do organismo, ambiente e tarefa. O conceito formulado por Newell foi suportado por estudos que buscaram compreender o desenvolvimento do alcance tanto em relação às restrições intrínsecas como às extrínsecas. Como exemplos, há estudos que verificaram como a melhora do controle postural nas posições sentada (Rochat & Goubet, 1995) e supina (Fallang, Saugstad & Hadders-Algra, 2000) e o uso de objetos de diferentes tamanhos e texturas (Rocha, Silva & Tudella, 2006a), objetos em movimento (Van Hof, Van der Kamp, Caljouw & Savelsbergh, 2005) e diferentes orientações corporais (Rochat, 1992; Savelsbergh & Van der Kamp, 1994; Out, Van Soest, Savelsbergh & Hopkins, 1998) afetam o alcance.

Pesquisas sobre a influência das diferentes orientações corporais durante a execução do alcance mostram que a posição sentada favorece aumento da frequência e duração dos alcances. Além disso, lactentes jovens (12 a 19 semanas), quando colocados sentados, apresentam comportamento de alcance semelhante aos lactentes mais velhos (20 a 27 semanas), posicionados seja em supino, reclinado ou sentado (Savelsbergh & Van der Kamp, 1994).

Os resultados desse estudo sugerem importantes questionamentos. Estas similaridades entre os alcances de lactentes jovens posicionados em sentado e lactentes mais velhos podem também ser encontradas em relação aos parâmetros cinemáticos (variáveis espaço-temporais) do alcance? Em outras palavras, esperamos que os lactentes mais velhos, e conseqüentemente, mais experientes, apresentem alcances mais retilíneos e com maiores velocidades de movimento. Baseados nesse pressuposto, levantamos a pergunta se a posição sentada é capaz de facilitar o alcance de lactentes jovens, favorecendo a realização de alcances com trajetórias mais retilíneas e movimentos mais rápidos.

Baseado nesse questionamento, a proposta do presente estudo foi verificar se as diferentes orientações corporais (em relação ao vetor força da gravidade) afetam as variáveis espaço-temporais do alcance de lactentes de 4 a 6 meses e como isso ocorre.

---

Duas hipóteses foram testadas neste estudo. Na primeira hipótese, nós predizemos que há alteração nas variáveis cinemáticas do alcance entre 4 e 6 meses. Acreditamos que aos 6 meses, os lactentes são mais habilidosos na execução do alcance devido ao desenvolvimento da acuidade visual, atenção visual, cognição e controle postural (Rochat & Goubet, 1995; Fallang et al., 2000; Savelsbergh & Van der Kamp, 1994; Van Hof, Van der Kamp & Savelsbergh, 2006, 2004). Dessa forma, esperamos que os lactentes mais velhos, independente da orientação corporal, apresentem melhor desempenho no alcance que os lactentes mais jovens, isto é, trajetórias mais retilíneas, menores durações e maiores velocidades.

A segunda hipótese testada é que a posição sentada favorecerá a execução de alcances mais coordenados, independente da idade, tanto em relação à frequência e duração como para os parâmetros espaço-temporais do movimento. O alcance foi denominado como mais coordenado quando os movimentos foram realizados com menores trajetórias, maiores velocidades e, conseqüentemente, menores durações. Para compreendermos essa segunda hipótese, consideremos o alcance como o movimento do membro superior em direção a um objeto, sendo este movimento iniciado com o membro superior posicionado a 0° de flexão de ombro e cotovelo. De acordo com a Biomecânica, a posição supina exige maior torque muscular do braço no início do alcance porque o centro de massa do membro superior encontra-se distante do eixo rotacional, localizado no ombro. Em comparação, a posição sentada exige menor torque muscular no início do movimento porque o centro de massa do membro superior está mais próximo ao eixo rotacional do ombro (Savelsbergh & Van der Kamp, 1994). Acreditamos que o alcance será afetado pelas diferentes posições corporais porque o lactente ainda não apresenta controle postural e motricidade dos membros superiores totalmente desenvolvidos. Além disso, a mecânica do membro superior do lactente quando posicionado em supino pode ser comparada a um pêndulo invertido, pois o centro de massa do membro superior encontra-se acima do centro rotacional, localizado no ombro (Out et al., 1998). Essa configuração pode trazer instabilidade ao membro superior durante a realização dos alcances em supino, aumentando a tendência do membro superior em oscilar e comprometendo a qualidade do movimento.

Conseqüentemente, sugerimos que lactentes jovens quando posicionados sentados têm menos dificuldade para iniciar o movimento nessa posição porque o torque muscular exigido para a realização do alcance é menor que em outras posições. Por isso, os movimentos podem apresentar trajetórias mais retilíneas. Embora o torque muscular necessário para a realização do alcance na posição sentada aumente da metade até o final do movimento devido à flexão

de ombro e conseqüente aumento na distância entre o centro rotacional e o centro de massa do membro superior, o lactente pode fazer uso da inércia para manter a trajetória do movimento até que a mão toque o objeto (Out et al., 1998). Quando os lactentes aproveitam essa “vantagem biomecânica” oferecida pela posição sentada, ou seja, menor torque para iniciar o alcance e utilização da inércia no final do movimento, o alcance pode ser executado com trajetória mais retilínea, menor duração e maior velocidade. Na posição supina, a trajetória pode ser tortuosa, e conseqüentemente maior, devido à instabilidade causada pela tendência do membro superior em oscilar e maior torque muscular necessário para iniciar o movimento. Devido a essa instabilidade, o lactente precisa fazer mais ajustes para conseguir alcançar o objeto, e por isso, o movimento será executado com maior trajetória, maior duração e menor velocidade.

Este estudo longitudinal é uma extensão do estudo transversal de Savelsbergh e Van der Kamp (1994), buscando aprofundar os conhecimentos sobre o efeito de fatores intrínsecos e extrínsecos no alcance por meio da análise dos parâmetros espaço-temporais do movimento. Além disso, este trabalho demonstra a complexidade do processo de desenvolvimento da habilidade de alcançar objetos em lactentes de 4 a 6 meses.

## **2. Métodos**

### *2.1. Participantes*

Participaram deste estudo 4 lactentes saudáveis: 1 do sexo masculino e 3 do sexo feminino, nascidos a termo (idade gestacional: M = 40,33 semanas; DP = 0,58 semanas), com Apgar maior ou igual a 8 nos primeiro e quinto minutos. Os lactentes foram avaliados longitudinalmente nas idades de 4 (M = 4 meses; DP = 3 dias), 5 (M= 5 meses e 1 dia; DP=1 dia) e 6 meses (M=6 meses; DP=2 dias), com tolerância de 7 dias antes ou após a data do aniversário.

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa (protocolo n. 092/2002) da Universidade Federal de São Carlos, Brasil, conforme consta no Apêndice 2. Um termo de consentimento livre e esclarecido foi assinado pelos responsáveis, autorizando a participação do lactente no estudo (Apêndice 3).

### *2.2. Materiais e procedimentos*

Marcadores esféricos (Figura 2) foram fixados nos punhos dos lactentes (região dorsal do carpo), usando-se uma fita hipoalérgica (Out et al., 1998). Posteriormente, o lactente foi posicionado em uma cadeira infantil (Figura 3), com inclinação de 70° em relação à horizontal

(Von Hofsten, 1982, 1984; Carvalho, Tudella & Barros, 2005). A cadeira estava posicionada no centro de um volume calibrado (0,480 x 0,320 x 2,300m), como mostra a Figura 4. Um intervalo de 20 segundos foi permitido para que o lactente se acostumasse à posição. Durante esse intervalo, nenhum estímulo foi apresentado. Foram utilizados como estímulo para o alcance três diferentes brinquedos (Figura 5), pequenos e de formas variadas. O primeiro brinquedo foi apresentado na linha média, a uma distância correspondente ao comprimento entre ombro e punho do lactente (Corbetta, Thelen & Johnson, 2000; Van der Fits & Hadders-Algra, 1998). Após o alcance, o brinquedo era cuidadosamente retirado e apresentado novamente, durante um período de 2 minutos. O mesmo procedimento foi repetido para o segundo brinquedo. Caso o lactente não mostrasse interesse por qualquer um dos brinquedos, este era substituído pelo terceiro brinquedo. Esta avaliação foi repetida na posição supina (0°). A seqüência das posições foi escolhida de forma pseudo-randômica. O tempo total de experimento foi de aproximadamente 8 minutos e 40 segundos. Não foi imposta uma posição rigorosa da mão do lactente no início do alcance, pois isto poderia interferir na biomecânica do movimento.

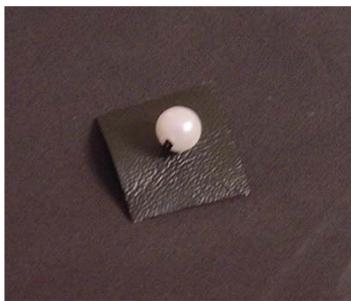


Figura 2: Marcador esférico retro-reflexivo



Figura 3: Cadeira infantil na qual o lactente foi posicionado



Figura 4: Volume usado para calibração do sistema de análise de imagens



Figura 5: Brinquedos utilizados como estímulo ao alcance

Todo protocolo experimental foi filmado por três câmeras digitais (com frequência de 60Hz), uma posicionada acima e atrás da cadeira e as outras duas em frente e diagonalmente à cadeira, sendo uma à direita e outra à esquerda, para que os marcadores estivessem visíveis durante toda a trajetória do alcance (Carvalho et al., 2005) (Figura 6).

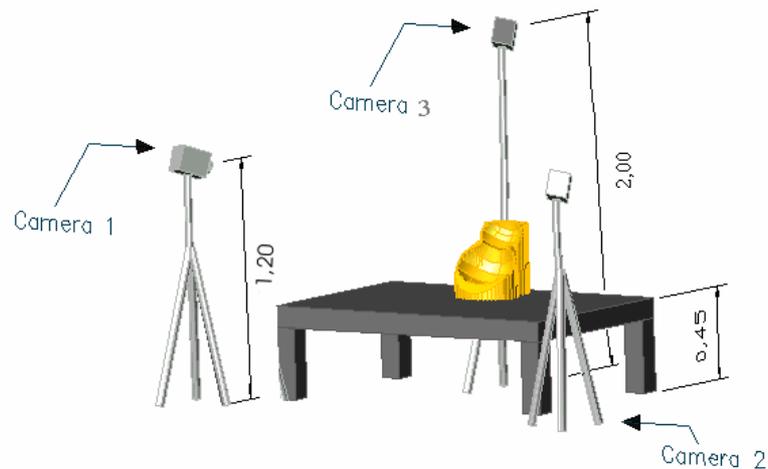


Figura 6: Desenho esquemático do posicionamento da cadeira e das câmeras

As imagens das três câmeras foram capturas por meio de uma placa de captura de imagens. A análise cinemática foi realizada, frame a frame, através do sistema Dvideow (Barros, Brenzikofer & Leite, 1999). Analisamos o movimento do membro superior direito do lactente utilizando as imagens referentes às câmeras situadas superiormente e a direita da cadeira. Para o membro superior esquerdo, analisamos as imagens das câmeras situadas superiormente e a esquerda da cadeira.

A partir da aplicação do sistema Dvideow, foi obtido um arquivo com as coordenadas XYZ dos marcadores fixados em ambos os punhos do lactente. Utilizamos o programa Matlab para filtrar os dados por meio de um filtro digital do tipo Butterworth de 4ª ordem (frequência de corte de 6Hz). As variáveis duração do alcance, índice de retidão, índice de desaceleração e velocidade média foram calculadas por meio de rotinas.

### 2.3. Descrição das variáveis dependentes

Foram selecionadas variáveis que indicassem possíveis mudanças nos parâmetros espaciais (como índice de retidão), temporais (como a duração do alcance) e espaço-temporais (como a velocidade média) do alcance.

Consideramos “alcance” somente quando o movimento do braço resultou no toque do brinquedo pela mão do lactente, em algum momento da trajetória. O início do alcance foi identificado pelo frame no qual o braço do lactente deslocou-se ininterruptamente em direção ao brinquedo. O final do alcance foi identificado pelo frame no qual a mão do lactente tocou o brinquedo (Corbetta & Thelen, 1996; Thelen, Corbetta & Spencer, 1996; Fallang et al., 2000; Rocha et al., 2006a).

A frequência de alcances foi calculada através do número de movimentos de alcance considerados válidos para cada posição corporal.

A duração do alcance foi obtida pela diferença de tempo entre final e o início do alcance.

O índice de retidão foi calculado pela razão entre a distância mínima que poderia ser percorrida (distância entre a posição inicial da mão e o objeto) e a distância percorrida pela mão. O índice de retidão igual a 1 indica que o lactente realizou o alcance através da menor trajetória possível (Thelen et al., 1996; Coelho, 2004).

O tempo de desaceleração indica o tempo necessário para o lactente desacelerar o movimento do braço para que a mão toque o brinquedo. Esta variável foi calculada através do tempo entre o pico de velocidade e o final do alcance (Pryde, Roy & Campbell, 1998). Menor tempo de desaceleração indica que o lactente precisou realizar menos ajustes na trajetória.

A velocidade média foi obtida através da razão entre a distância percorrida e a duração do alcance (Mathew & Cook, 1991).

#### *2.4. Análise dos dados*

O teste Qui-quadrado foi aplicado para verificar possíveis diferenças entre as idades e posições corporais para a frequência de alcances. O teste Kruskal-Wallis foi usado para verificar possíveis diferenças entre as idades para os parâmetros cinemáticos do alcance. Finalmente, o teste Mann-Whitney foi aplicado para examinar possíveis diferenças nas variáveis cinemáticas entre as posições supina e sentada, em uma mesma idade. Para todas as análises, o nível de significância usado foi  $p \leq 0.017$ , o qual foi corrigido de acordo com o número de comparações.

### **3. Resultados**

Os quatro lactentes avaliados realizaram 111 alcances em supino e 157 na posição sentada, totalizando 268 alcances (Tabela 1). Desse total, 33 movimentos foram excluídos por erros experimentais e choro do lactente. Por isso, a análise cinemática foi realizada em 235 alcances.

Tabela 1: Frequência de alcances realizados aos 4, 5 e 6 meses, nas posições supina e sentada.

	<b>Supino</b>	<b>Sentado</b>	<b>Total</b>
<b>4 meses</b>	23	41	64
<b>5 meses</b>	55	55	110
<b>6 meses</b>	33	61	94
<b>Total</b>	111	157	268

Testes estatísticos foram aplicados para excluir a possibilidade de que as diferenças encontradas pudessem ter sido causadas pelas características dos objetos, uma vez que estes apresentavam formas variadas. Levando-se em consideração os três brinquedos utilizados, de acordo com o teste Kruskal-Wallis, não houve diferenças para duração do alcance ( $H(2)=0,899$ ;  $p=0,638$ ), índice de retidão ( $H(2)=0,528$ ;  $p=0,768$ ), tempo de desaceleração ( $H(2)=3,848$ ;  $p=0,146$ ) e velocidade média ( $H(2)=0,241$ ;  $p=0,886$ ). Esses resultados confirmam que os achados deste estudo resultam da influência da idade e posição corporal, não sendo afetados pelas características dos brinquedos utilizados como estímulo ao alcance.

### 3.1. Efeito da idade nas variáveis do alcance

Para a frequência de alcances, houve diferença significativa entre as idades ( $X^2(2)=12,209$ ;  $p=0,002$ ), sendo as maiores frequências registradas aos 5 e 6 meses (Tabela 1). Dois lactentes aos 6 meses apresentaram menor frequência de alcances em supino (2 e 4 alcances, respectivamente) porque eles não toleraram permanecer nessa posição.

A Figura 7A-D mostra as variáveis cinemáticas do alcance para cada mês avaliado. O teste Kruskal-Wallis indicou não haver diferenças na duração do alcance em relação à idade ( $H(2)=2,855$ ;  $p=0,240$ ). O índice de retidão foi menor aos 4 meses quando comparado com os demais meses ( $H(2)=17,492$ ;  $p<0,01$ ). Não houve diferenças significativas para tempo de desaceleração ( $H(2)=4,038$ ;  $p=0,133$ ) e velocidade média ( $H(2)=4,647$ ;  $p=0,98$ ) em relação à idade.

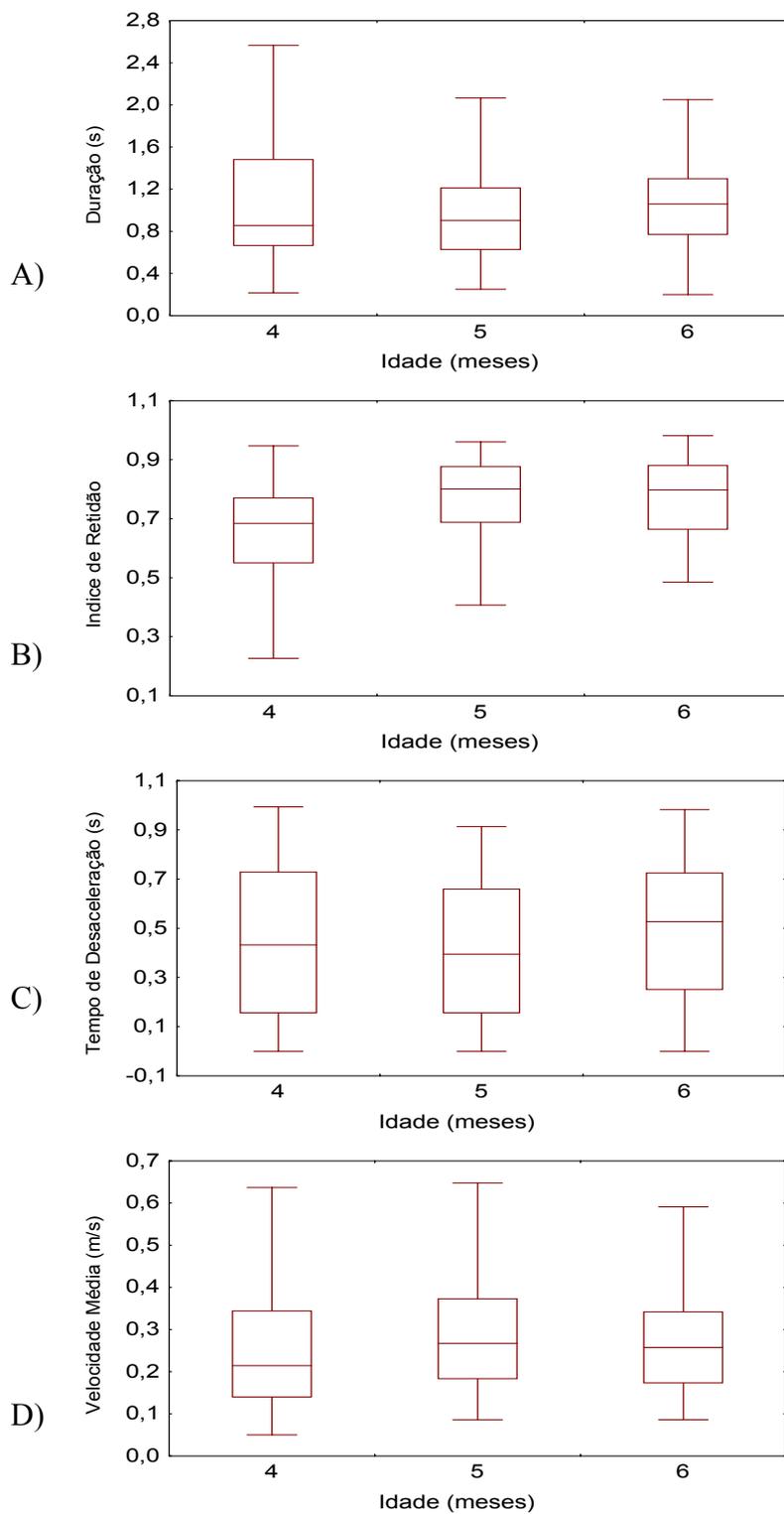


Figura 7A-D: Mediana da duração (A), índice de retidão (B), tempo de desaceleração (C) e velocidade média (D) dos alcances dos lactentes aos 4, 5 e 6 meses.

### 3.2. Efeito da posição corporal nas variáveis do alcance

A frequência de alcances na posição sentada foi estatisticamente maior ( $X^2(1)=7,896$ ;  $p=0,005$ ) que em supino (Tabela 1).

A Figura 8A-D mostra as variáveis cinemáticas do alcance para cada orientação corporal em uma mesma idade. A duração do alcance foi maior em supino aos 4 meses ( $U(1)=179,5$ ;  $p=0,001$ ), e não houve diferenças aos 5 ( $U(1)=935,5$ ;  $p=0,154$ ) e 6 meses ( $U(1)=724$ ;  $p=0,302$ ). Não houve diferenças significativas para o índice de retidão aos 4 ( $U(1)=348$ ;  $p=0,733$ ), 5 ( $U(1)=862,5$ ;  $p=0,049$ ) e 6 meses ( $U(1)=751$ ;  $p=0,432$ ). O tempo de desaceleração foi maior na posição supina aos 4 meses ( $U(1)=214,5$ ;  $p=0,009$ ), e não houve diferenças significativas aos 5 ( $U(1)=965,5$ ;  $p=0,229$ ) e 6 meses ( $U(1)=783,5$ ;  $p=0,625$ ). Para a velocidade média, não houve diferenças significativas entre as posições aos 4 ( $U(1)=288$ ;  $p=0,172$ ), 5 ( $U(1)=995$ ;  $p=0,326$ ) e 6 meses ( $U(1)=781,5$ ;  $p=0,612$ ). Em resumo, houve mudanças significativas para a duração e tempo de desaceleração, sendo que ambos foram maiores na posição supina aos 4 meses.

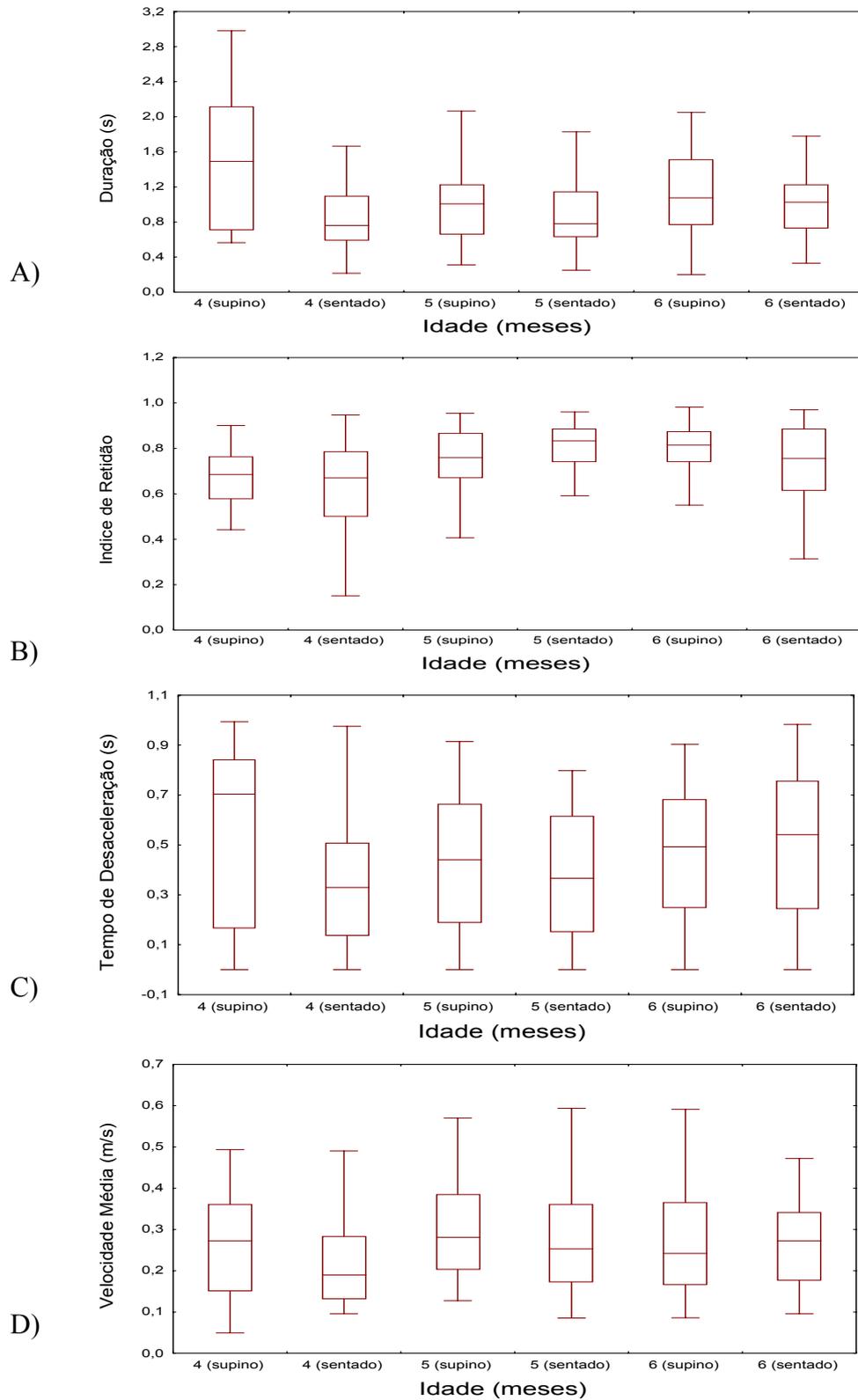


Figura 8A-D: Mediana da duração (A), índice de retidão (B), tempo de desaceleração (C) e velocidade média (D) do alcance nas posições supina e sentada, aos 4, 5 e 6 meses.

#### 4. Discussão

Este estudo verificou o efeito da orientação corporal em relação à gravidade nos parâmetros espaço-temporais do alcance de lactentes de 4 a 6 meses. Nossos resultados indicaram que idade e orientação corporal influenciam o alcance nesse estágio do desenvolvimento infantil, confirmando o pressuposto teórico de que ambos os fatores intrínsecos e extrínsecos podem afetar o alcance de lactentes.

Quanto à primeira hipótese sobre as mudanças nos parâmetros cinemáticos do alcance em relação à idade, nossos achados demonstraram aumento nas variáveis frequência de alcances e índice de retidão. O efeito da idade na frequência de alcances tem sido descrito na literatura (Konczak & Dichgans, 1997; Out et al., 1998; Rocha et al., 2006a; Savelsbergh & Van der Kamp, 1994; Thelen et al., 1996) e sugere que os lactentes aprimoram suas habilidades para alcançar objetos com o aumento da idade. Inesperadamente, nossos resultados indicaram aumento discreto da frequência de alcances na posição supina aos 5 meses em relação aos 6 meses. Dois lactentes apresentaram frequências de 2 e 4 alcances aos 6 meses em supino, sendo que esses mesmos lactentes, aos 5 meses, tiveram frequências de 18 e 12 alcances, respectivamente. Observamos que esses lactentes aos 6 meses não aceitaram permanecer na posição supina, o que pode ser um indício de que eles apresentavam bom controle postural na posição sentada, e portanto, preferiam permanecer nessa posição.

As mudanças no índice de retidão indicaram que os lactentes estabilizaram a trajetória de seus alcances com aumento da idade. O menor índice de retidão (que corresponde à maior trajetória) foi observado aos 4 meses. Este é um indício de que as trajetórias dos alcances tornaram-se mais retilíneas e os movimentos, melhor controlados com o aumento da idade, o que também foi observado por Von Hofsten (1991).

De acordo com Newell (1986), o refinamento do alcance ao longo dos meses resulta da interação entre restrições intrínsecas e extrínsecas. O desenvolvimento do alcance pode resultar de mudanças nas restrições intrínsecas, as quais seguem uma seqüência adaptativa de desenvolvimento. Essas mudanças são caracterizadas, por exemplo, pelo aumento da acuidade visual, habilidade cognitiva, fortalecimento muscular, controle postural e percepção do mundo ao redor. De acordo com Gibson (1988), a percepção guia a ação humana, e a ação pode ser informativa. Lactentes de 4 a 6 meses realizam vários movimentos com seus membros superiores, sendo muitos deles alcances. Conseqüentemente, a percepção sobre os *affordances* do ambiente se altera porque os lactentes tiveram novas oportunidades para adquirir informações através de suas ações. Com isso, sugerimos que quanto melhor a percepção que o lactente tem sobre os *affordances* do ambiente, mais coordenado será seu alcance.

Em relação à segunda hipótese sobre as mudanças no padrão cinemático do alcance em função das orientações corporais, nossos achados demonstraram que a posição sentada permite melhor alcance aos 4 meses. Tal fato pode ser verificado devido o aumento da frequência e diminuição da duração e tempo de desaceleração, observados nessa posição. Assim que os lactentes aprendem a alcançar objetos, eles possuem dois problemas centrais para resolver: (1) a tendência do membro superior em oscilar (Out, Van Soest & Hopkins, 1997) e (2) a produção da quantidade necessária de torque na presença de torques externos desconhecidos, como a gravidade (Konczak, Borutta & Dichgans, 1997). Esses problemas aumentam quando o lactente está em supino devido ao maior torque muscular necessário no início do movimento, e também porque a gravidade amplifica a oscilação do braço nessa posição. Com isso, os lactentes precisam desenvolver estratégias para resolver essas restrições.

Nossos achados sugerem que a estratégia utilizada pelos lactentes aos 4 meses foi alterar os parâmetros temporais do alcance (duração e tempo de desaceleração) para se adaptarem à restrição imposta pela posição supino. Com isso, os lactentes tiveram mais tempo para processar e usar a informação visual para tocar o brinquedo. O modelo de controle que os lactentes usaram não parece ser por *feedback* um vez que não houve diferença entre as posições para o índice de retidão aos 4 meses. Se os lactentes tivessem usado o modo de controle por *feedback*, eles corrigiriam a trajetória de seus alcances após o erro, o que resultaria em aumento da trajetória do movimento. Assim, os resultados indicam que os lactentes não corrigiram o movimento após o erro, mas durante sua execução. De acordo com Out et al. (1998), as diferenças entre as posições supina e sentada podem ter sido causadas pelo modo de controle por *feedforward* utilizado durante o alcance. Na posição supina, pequenos erros nesse controle podem resultar na perda do alvo e conseqüente diminuição da frequência de alcances, o que também foi verificado no presente estudo.

A idade foi usada como variável independente e considerada uma restrição intrínseca. No entanto, sabemos que o comportamento de alcance não se inicia na mesma idade para todos os lactentes (Wimmers, Savelsbergh, Beek, & Hopkins, 1998) e que o nível de experiência na execução da tarefa pode diferir significativamente para lactentes de mesma faixa etária. Portanto, futuras pesquisas são necessárias considerando também a experiência no alcance.

Aos 5 e 6 meses, a posição corporal não afetou nenhum dos parâmetros analisados. Acreditamos que, após ganho de experiência no alcance e aprimoramento do controle e coordenação dos membros superiores, os lactentes são capazes de resolver os problemas

---

relacionados à instabilidade mecânica dos braços e maior torque muscular necessário no início do movimento em supino. Portanto, as diferentes orientações corporais não afetaram os parâmetros cinemáticos do alcance porque os lactentes estão aptos a resolver os problemas biomecânicos relacionados ao movimento. No entanto, de acordo com Konczak et al. (1997), lactentes de 4 a 6 meses apresentam problemas na produção do torque muscular necessário na presença de torques desconhecidos, como a gravidade. Uma possível explicação é que o aprimoramento do alcance ocorreu porque o total controle sobre a motricidade dos membros superiores não é o único agente responsável pelo desenvolvimento gradual de um padrão de alcance refinado. Além disso, as diferentes orientações corporais não são os únicos fatores que influenciam os parâmetros espaço-temporais do alcance. Outros fatores, incluindo melhora da acuidade visual, coordenação olho-mão (Bushnell, 1985), cognição (Gibson, 1988) e nível de controle postural (Fallang et al., 2000) também são responsáveis por este refinamento do alcance. A experiência adquirida após o lactente aprender e praticar o alcance também desempenha um papel extremamente importante (Galloway & Thelen, 2004; Rocha et al., 2006a; Von Hofsten, 1979, 1984, 1991; Thelen et al., 1993).

Outra possível explicação para a estabilidade da trajetória do alcance entre as posições não somente 5 e 6 meses mas também aos 4 meses, observada através do índice de retidão, é suportada por Konczak e Dichgans (1997) e Out et al. (1998). Esses pesquisadores também não encontraram diferenças na trajetória do alcance entre as posições. Out et al. (1998), observaram alteração nos padrões de atividade eletromiográfica da musculatura de pescoço, ombro e membro superior durante a realização de alcances por lactentes jovens. Os autores consideraram tal mudança como o fator responsável pela não alteração nos parâmetros cinemáticos do movimento (índice de retidão, raio de curvatura e velocidade tangencial). Resultados semelhantes foram encontrados por Virji-Babul et al. (1994), os quais verificaram que indivíduos adultos alteram os padrões de atividade eletromiográfica para preservar a trajetória quando os movimentos são executados sob diferentes cargas gravitacionais. Por isso, consideramos que os lactentes deste estudo utilizaram essa mesma estratégia, mantendo inalterados os parâmetros índice de retidão e velocidade média em relação às diferentes orientações corporais. Nossos achados também indicam que os lactentes de 4 a 6 meses ainda estão aprendendo a controlar a trajetória do movimento, verificado pelo aumento no índice de retidão com o aumento da idade. Portanto, sugerimos que as diferentes orientações corporais, em relação ao vetor gravidade, são restrições extrínsecas as quais não afetam a estabilidade da trajetória e velocidade média do alcance. De acordo com Thelen et al. (1996), os lactentes aprendem primeiro a controlar a trajetória do movimento para então aprenderem a estabilizá-

---

la contra eventuais distúrbios causados pelas mudanças na velocidade do movimento. Esses pesquisadores não encontraram diferenças na velocidade média dos alcances de lactentes durante o primeiro ano de vida. Cada novo padrão de ação desenvolvido pelo lactente resulta em novos problemas do movimento que o lactente precisa aprender a resolver (Rosengren et al., 2003; Von Hofsten, 2004).

Baseados nestes resultados, acreditamos que as mudanças nas variáveis cinemáticas do alcance seguem uma direção não-linear porque houve alteração nas variáveis duração e tempo de desaceleração entre as posições aos 4 meses, e no índice de retidão entre as idades de 4, 5 e 6 meses. De acordo com Rocha, Silva e Tudella (2006b), a não-linearidade no desenvolvimento sugere que há conexão entre as habilidades dos lactentes e a informação ambiental. Entretanto, nossos achados não concluem decisivamente que o desenvolvimento do alcance é não linear e que restrições intrínsecas e extrínsecas (nível de habilidade do lactente e ambiente) são responsáveis por essa não-linearidade. Por isso, estudos são necessários para examinar essa questão.

Concluimos que os lactentes mudaram suas estratégias de alcance para se adaptarem às restrições ambientais. Nossos achados mostram que o desenvolvimento do alcance é influenciado por ambas as restrições intrínsecas e extrínsecas. Dependendo da restrição intrínseca (idade como indicador do desenvolvimento) avaliada, a restrição extrínseca (diferentes posições corporais) influenciará os parâmetros espaço-temporais do alcance de diferentes formas. Portanto, enfatizamos que a orientação corporal do lactente deve ser levada em consideração quando mudanças no desenvolvimento do alcance forem avaliadas.



**Estudo 2**

**Controle precoce do alcance: efeitos da experiência e  
orientação corporal**

---

**Resumo**

Embora estudos mostrem que experiência pode ser um melhor indicador da aquisição de habilidades motoras durante a infância que a idade, poucos trabalhos sobre o desenvolvimento do alcance têm sido direcionados para essa questão. Este estudo longitudinal preenche esta lacuna verificando o efeito da experiência no alcance de lactentes posicionados em diferentes orientações corporais. Lactentes considerados menos ( $n=6$ ) e mais ( $n=4$ ) habilidosos no alcance foram avaliados no mês de aquisição desta habilidade e após um mês de prática espontânea. Os alcances realizados nas posições supina ( $0^\circ$ ), reclinada ( $45^\circ$ ) e sentada ( $70^\circ$ ) foram analisados tridimensionalmente por meio de um sistema de análise cinemática. Os resultados indicaram que a experiência foi mais relevante que a idade para a frequência de alcances. Os níveis de habilidade afetaram como os lactentes menos e mais habilidosos exploraram e adaptaram os parâmetros cinemáticos do alcance às restrições impostas pelas orientações corporais. Esses achados sugerem que experiência e orientações corporais são importantes restrições que devem ser consideradas na avaliação do desenvolvimento do alcance de lactentes.

Palavras chave: alcance, cinemática, orientação corporal.

## 1. Introdução

Lactentes adquirem e desenvolvem importantes habilidades motoras durante o primeiro ano de vida. A aquisição do alcance, em particular, tem sido extensivamente estudada durante os últimos trinta anos (Konczack & Dichigan, 1997; Thelen, Corbetta, & Spencer, 1996; Von Hofsten, 1979, 1982, 1991). O movimento de alcance requer certo nível de interação entre o lactente e o ambiente, e representa um refinamento na percepção do mundo e o reconhecimento do ganho de possíveis ações (Rosengren, Savelsbergh, & Van der Kamp, 2003; Savelsbergh & Van der Kamp, 1993; Von Hofsten, 1991). Baseado na perspectiva de restrições, a ação é geralmente desenvolvida por meio de mudanças nas restrições impostas ao sistema organismo-ambiente (Newell, 1986). As restrições podem atuar, em determinado período do desenvolvimento, como fatores limitantes para a aquisição e controle de novas ações motoras. Em outras palavras, essas restrições são consideradas fatores que, de algum modo, estabelecem limites para controle e coordenação de uma ação, além de mudanças na ação. A interação dessas restrições não prescreve um padrão para a ação, mas guia seu desenvolvimento através da ocorrência de determinados padrões mais ou menos prováveis. Uma mudança na confluência de restrições, portanto, pode resultar em mudança na ação, sem que haja predomínio de uma restrição. É a interação entre restrições intrínsecas e extrínsecas que faz algumas ações, e não outras, possíveis em um determinado tempo e lugar (Rosengren et al., 2003). O presente estudo verifica como a interação entre restrições intrínsecas e extrínsecas afeta a coordenação precoce do alcance.

O conceito de restrições formulado por Newell (1986) tem sido confirmado por estudos que buscam entender o desenvolvimento do alcance. Esses estudos consideram como fatores responsáveis por este desenvolvimento tanto as restrições intrínsecas, como a melhora no controle postural nas posições sentada (Rochat & Goubet, 1995) e supina (Fallang, Saugstad & Hadders-Algra, 2000), quanto as restrições extrínsecas, como o uso de objetos de diferentes tamanhos (Van Hof et al., 2006) e rigidez (Rocha, Silva & Tudella, 2006a), objetos em movimento (Van Hof, Van der Kamp, Caljouw & Savelsbergh, 2005) e diferentes orientações corporais (Rochat, 1992; Savelsbergh & Van der Kamp, 1994; Out, Van Soest, Savelsbergh & Hopkins, 1998).

No estudo de Savelsbergh e Van der Kamp (1994), os movimentos de alcance de lactentes de 12 a 27 semanas de idade foram avaliados, estando estes posicionados em uma cadeira que poderia ser ajustada em três orientações corporais: sentada, reclinada e supina. Os movimentos de alcance e preensão foram afetados pela idade e orientação corporal. Especificamente na posição sentada, lactentes de 12 a 19 semanas mostraram padrões de

---

alcance e preensão comparáveis àqueles dos lactentes de 20 a 27 semanas em quaisquer das posições. No entanto, quando os lactentes jovens de 12 a 19 semanas estavam em supino, eles não somente executaram menos alcances e preensões, mas seus movimentos foram julgados como pobremente controlados e coordenados. A observação de que somente o movimento de lactentes jovens foi afetado pela orientação corporal sugere que restrições biomecânicas (por exemplo, potência muscular para vencer a força gravitacional) podem atuar como fatores limitantes durante o desenvolvimento do alcance e preensão. Carvalho, Tudella e Savelsbergh (2007a), no estudo longitudinal sobre o efeito das posições sentada e supina nos parâmetros espaço-temporais do alcance de lactentes aos 4, 5 e 6 meses, verificaram que a frequência de alcances e o índice de retidão aumentaram com a idade. Diferenças significativas entre as orientações corporais foram observadas aos 4 meses, quando a frequência aumentou e a duração e o tempo de desaceleração diminuíram na posição sentada. Não houve diferenças significativas entre as posições corporais aos 5 e 6 meses. Esses achados sugerem que lactentes jovens são capazes de alterar os parâmetros cinemáticos do alcance para se adaptarem às restrições intrínsecas e extrínsecas (isto é, idade e posição corporal). No entanto, o estudo de Adolph (1997; 2000) sobre a locomoção em diferentes inclinações mostrou que o tempo de experiência no engatinhar foi um melhor indicador da resposta adaptativa apresentada pelo lactente que a idade. A questão levantada é se isto também acontece no alcance em diferentes orientações corporais, ou seja, o tempo de experiência no alcance é uma restrição mais importante que a idade?

Existe escassez de dados na literatura sobre os efeitos do tempo de prática no desenvolvimento do alcance adaptativo, isto é, quando o alcance é realizado de forma adequada ou adaptada em relação às restrições impostas pelo ambiente. Os indivíduos mais habilidosos tendem a apresentar melhor aptidão para direcionar sua atenção para as informações relevantes do ambiente (Gibson, 1969). Trabalhos prévios mostraram que lactentes mais velhos, e provavelmente mais experientes e habilidosos no alcance, apresentaram comportamento mais adaptativo que os lactentes jovens, possivelmente menos experientes e habilidosos. Dessa forma, tanto o tempo de prático como o nível de habilidade podem influenciar a adaptabilidade do indivíduo. O presente estudo explora essa possibilidade e investiga esses fatores separadamente, buscando verificar se o tempo de prática e o nível de habilidade no alcance são restrições mais importantes do que a idade do lactente.

Há muitos fatores que podem determinar o nível de experiência do alcance em lactentes jovens, como o número de oportunidades para praticar o movimento, o refinamento no controle do movimento dos membros superiores, a percepção da ação apropriada para

---

situações específicas e dinâmica intrínseca (Lobo, Galloway & Savelsbergh, 2004; Wimmers, Savelsbergh, Beek & Hopkins, 1998; Van Hof et al., 2005). Outro fator foi levantado por Rochat (1992), o qual verificou que lactentes “não sentadores” (5 a 6 meses) na posição sentada tenderam a realizar alcances unimanuais, semelhante aos “sentadores” (6 a 8 meses) nas posições supina, reclinada, sentada e prona. Ambos os grupos de “não sentadores” e “sentadores” tinham lactentes de 6 meses de idade. O autor sugeriu que os níveis de controle postural (como indicador de experiência postural) são importantes fatores de coordenação dos membros superiores no movimento de alcance.

Baseados nesses estudos, usaremos os níveis de habilidade do alcance como indicador da experiência obtida através da confluência dessas restrições. No entanto, a questão é: como podemos indicar que lactentes de mesma idade podem apresentar diferentes níveis de habilidade no alcance? Os estudos de Savelsbergh e Van der Kamp (1994) e Carvalho et al. (2007a) deram-nos uma sugestão. Na posição supina, lactentes que executaram menos alcances apresentaram movimentos menos controlados e coordenados; enquanto lactentes que executaram mais alcances apresentaram movimentos melhor coordenados. Portanto, usaremos as diferenças entre as frequências de alcance em supino, reclinado e sentado, especialmente a menor frequência em supino, como indicador do nível habilidade do alcance. Convém ressaltar que a nomenclatura utilizada para determinar os níveis de habilidade (menos- e mais-habilidosos) no alcance não teve como propósito subestimar ou superestimar as capacidades dos lactentes. Tal classificação foi utilizada para diferenciar dois grupos de lactentes, ambos aptos a realizar o alcance, cuja diferença é o grau de dificuldade em realizar alcances na posição supina, observado pela menor frequência de execução dos movimentos nessa orientação corporal.

O objetivo deste estudo é examinar o efeito do tempo de prática no alcance de lactentes, classificados como menos e mais habilidosos, posicionados em diferentes orientações corporais. Para atingir este propósito, o desenho experimental adotado foi longitudinal porque sabemos que a aquisição do alcance não acontece na mesma idade para todos os lactentes (Carvalho et al., 2007a; Thelen et al., 1993; Rocha et al., 2006a; Wimmers et al., 1998). Com isso, o presente estudo acompanhou o desempenho dos lactentes desde suas primeiras tentativas de alcance até que os mesmos realizassem um alcance melhor controlado e coordenado, ou seja, quando os movimentos fossem realizados com trajetórias menores e mais retilíneas, maiores velocidades e menores durações.

## 2. Métodos

### 2.1. Participantes

Treze lactentes a termo de ambos os gêneros (4 masculino e 9 feminino) participaram deste estudo. Os lactentes foram avaliados longitudinalmente nas idades de 4 (M=4 meses e 1 dia; DP=3 dias), 5 (M= 5 meses; DP=2 dias), e 6 meses (M= 6 meses; SD=3 dias). No entanto, três lactentes foram excluídos deste estudo porque não realizaram alcance em duas avaliações consecutivas. Baseados na análise estatística para a frequência de alcances nas posições supina, reclinada e sentada, no mês de aquisição da habilidade, os dez lactentes incluídos neste estudo foram classificados em dois grupos: menos-habilidosos, os quais apresentaram menor frequência na orientação supina (n=6); e os mais-habilidosos, os quais apresentaram similar frequência entre as orientações corporais (n=4).

O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa Humanas da Universidade Federal de São Carlos (protocolo nº 092/2002), Brasil, conforme consta no Apêndice 2. Os responsáveis pelos lactentes assinaram um termo de Consentimento Livre e Esclarecido, autorizando a participação dos lactentes no estudo (Apêndice 3).

### 2.2. Materiais e procedimentos

O lactente foi posicionado numa “cadeira infantil” (Figura 3) localizada no centro de um volume calibrado (0,480 x 0,320 x 2,300m) (Carvalho et al., 2005), como mostra a Figura 4. Marcadores esféricos passivos (Figura 2) foram fixados nos punhos do lactente (região dorsal do carpo), com fita dupla face hipoalérgica (Out et al., 1997). Brinquedos atrativos ao alcance (Figura 5) foram oferecidos em três orientações corporais distintas: supina, reclinada e sentada (0°, 45°, 70° da horizontal, respectivamente). A seqüência das orientações corporais foi escolhida de forma pseudo-randômica. Em cada orientação corporal, antes da apresentação do brinquedo, foi permitido um intervalo de 20 segundos para que o lactente se acostumasse à posição. O primeiro brinquedo foi oferecido por dois minutos, na linha média do corpo do lactente, na altura dos ombros e a uma distância do comprimento do braço (Corbetta, Thelen, & Johnson, 2000; Van der Fits, & Hadders-Algra, 1998; Rocha, Silva, & Tudella, 2006a). Após cada alcance, o brinquedo era retirado e apresentado novamente. O mesmo procedimento foi repetido para o segundo brinquedo. Se o lactente não demonstrasse interesse por um dos brinquedos apresentados, este era substituído por um terceiro brinquedo. Todos os brinquedos eram pequenos e de diferentes formas. Para evitar interferência na biomecânica do movimento, não foi imposta uma posição para a mão quando o brinquedo era apresentado. O tempo total de experimento foi de aproximadamente 13 minutos.

Toda fase experimental foi filmada por três câmeras digitais (60Hz), como mostrou a Figura 6. Uma foi posicionada acima e atrás da cadeira e outras duas à frente e diagonalmente à cadeira, uma à direita e outra à esquerda, permitindo que os marcadores fossem visualizados durante todo o movimento de alcance (Carvalho et al., 2005). Para a análise dos movimentos do braço direito, as imagens das câmeras localizadas acima e à direita da cadeira foram usadas; enquanto as imagens das câmeras localizadas acima e à esquerda foram usadas para analisar os movimentos do braço esquerdo.

As imagens das três câmeras foram capturadas por meio de uma placa de captura. O comportamento dos lactentes foi codificado enquanto assistíamos as filmagens. A reconstrução tridimensional dos alcances foi realizada, frame a frame, através do sistema de análise de imagens Dvideow 5.0 (Barros, Brenzikofer, & Leite, 1999). O programa Matlab 6.0 foi usado para filtrar as coordenadas (x,y,z) do movimento. Um filtro Butterworth de 4ª ordem com uma frequência de corte de 6 Hz foi utilizado para este fim. As variáveis duração do alcance, índice de desaceleração, índice de retidão, unidades de movimento, velocidade média e velocidade no toque foram calculadas por meio de rotinas.

Embora os lactentes tenham sido avaliados três vezes, isto é, aos 4, 5 e 6 meses, o comportamento de alcance foi analisado apenas duas vezes. Em outras palavras, os alcances foram analisados durante a primeira visita ao laboratório na qual o lactente realizou o alcance e durante a visita subsequente, isto é, após um mês de prática espontânea. Exceções foram dadas a 4 lactentes menos-habilidosos, cujos alcances também foram analisados uma terceira vez, após dois meses de prática. Dessa forma, três condições temporais foram estabelecidas: tempo de prática 1 (TP1), com os alcances realizados no mês de aquisição do movimento; tempo de prática 2 (TP2), composta pelos alcances realizados após um mês de prática espontânea; e tempo de prática 3 (TP3), com alcances realizados após dois meses de prática.

### *2.3. Descrição das variáveis dependentes.*

Foi considerado alcance o movimento do braço direcionado ao brinquedo, resultando no toque deste pela mão do lactente. O início do alcance foi definido como primeiro movimento de aproximação ininterrupta do braço do lactente em direção ao brinquedo. O final do alcance foi definido como o momento no qual a mão do lactente tocou o brinquedo (Fallang, Saugstad, & Hadders-Algra, 2000; Out et al., 1998; Rocha et al., 2006a; Thelen et al., 1996).

A *freqüência de alcances* foi calculada como o número de movimentos considerados válidos em cada orientação corporal.

As variáveis cinemáticas do alcance foram analisadas e classificadas em três grupos: parâmetros temporais, espaciais e espaço-temporais. Os parâmetros temporais analisados foram: (1) *duração do alcance*, calculada pela diferença de tempo entre o início do alcance e o toque da mão no brinquedo; e (2) *índice de desaceleração*, calculado pela razão entre o tempo de desaceleração e a duração do alcance. O tempo de desaceleração foi medido pelo tempo entre o pico de velocidade e o final do alcance (Pryde, Roy, & Campbell, 1998). O índice de desaceleração indicou a porcentagem de tempo necessária para desacelerar o movimento para que a mão tocasse o brinquedo.

Foram selecionados como parâmetros espaciais variáveis que caracterizam a retidão da trajetória do alcance. (3) *Índice de retidão* indicou se o lactente alcançou o brinquedo através de uma trajetória maior que a distância mínima possível de ser percorrida pela mão. Esta variável foi calculada pela razão entre a distância mínima que poderia ser percorrida (distância entre a posição inicial da mão e o brinquedo) e a distância realmente percorrida pela mão. O índice de retidão igual a 1 indica que o lactente executou alcance por meio da menor trajetória possível (Thelen et al., 1996). (4) *Número de unidades de movimento* foi definido como o número de velocidades máximas entre duas velocidades mínimas, as quais a diferença tenha sido maior que 1 cm/s (Thelen et al., 1996). A velocidade foi obtida pela norma do vetor, o qual é a raiz quadrada da soma dos quadrados das velocidades em X, Y e Z.

Os parâmetros espaço-temporais são variáveis que representam a velocidade do movimento. (5) *Velocidade média* foi obtida pela razão entre a norma da distância percorrida pela mão e a duração do alcance (Mathew & Cook, 1991). (6) *Velocidade no toque* foi definida como a velocidade instantânea no final do alcance, quando a mão tocou o brinquedo.

Os teste Qui-quadrado, Wilcoxon, Mann-Whitney e Kruskal-Wallis foram usados para verificar possíveis diferenças nas variáveis dependentes entre os lactentes menos- e mais-habilidosos em relação ao tempo de prática (TP1, TP2 e TP3) e às diferentes orientações corporais.

### 3. Resultados

A frequência de alcances na posição supina no mês de aquisição do movimento (TP1) foi verificada e usada como indicador do nível de habilidade, sendo os lactentes classificados em menos e mais-habilidosos (Tabela 2). O teste qui-quadrado indicou menor frequência em supino para os lactentes menos-habilidosos que para os mais-habilidosos ( $X^2(1)= 31,250$ ;  $p<0,01$ ). Além disso, houve menor frequência de alcances em supino para os menos-habilidosos ( $X^2(2)=20,739$ ;  $p<0,01$ ), em comparação às posições reclinada e sentada. Não

houve diferenças significativas entre as orientações corporais para os mais-habilidosos ( $X^2(2)=1,28$ ;  $p=0,527$ ).

Tabela 2: Frequência de alcances na posição supina para cada nível de habilidade (menos- e mais-habilidosos).

<i>Grupos</i>	<i>Lactentes</i>	<i>Frequência em Supino</i>
	1	0
	2	0
<b><i>Menos-habilidosos</i></b>	4	2
	5	7
	6	4
	9	2
	<b><i>M (DP)</i></b>	<b>2,5** (2,665)</b>
	3	12
<b><i>Mais-habilidosos</i></b>	7	21
	8	15
	10	17
	<b><i>M (DP)</i></b>	<b>16,25 (3,775)</b>

*Nota:* M=média; DP=desvio padrão; \*\*  $p<0,01$

### 3.1. Idade e nível de habilidade no alcance

A Tabela 3 mostra a idade e frequência de alcances para lactentes menos- e mais-habilidosos no mês de aquisição do movimento (TP1) e após um mês de prática espontânea (TP2). Testes estatísticos foram realizados para verificar possíveis diferenças entre menos- e mais-habilidosos nas sessões TP1 e TP2, buscando observar se há relação entre idade e nível de habilidade para a frequência de alcances.

Tabela 3: Frequência de alcances e idade (em dias) para os lactentes menos- e mais-habilidosos na aquisição do alcance (TP1) e após um mês de prática (TP2)

	<i>Lactentes</i>	<i>Idade em TP1</i>	<i>Frequência</i>	<i>Idade em TP2</i>	<i>Frequência</i>
<i>Menos-habilidosos</i>	<i>1</i>	124	25	152	47
	<i>2</i>	124	14	152	32
	<i>4</i>	122	18	153	35
	<i>5</i>	153	24	187	37
	<i>6</i>	122	18	157	34
	<i>9</i>	127	7	153	13
	<i>M</i> <i>(DP)</i>	<b>129</b> <b>(12)</b>	<b>17,7</b> <b>(6,7)</b>	<b>159</b> <b>(14)</b>	<b>33</b> <b>(11,1)</b>
<i>Mais-habilidosos</i>	<i>3</i>	156	45	184	50
	<i>7</i>	151	52	185	49
	<i>8</i>	154	40	180	36
	<i>10</i>	126	38	152	43
	<i>M</i> <i>(DP)</i>	<b>147</b> <b>(14)</b>	<b>43,8</b> <b>(6,2)</b>	<b>175,25</b> <b>(15,6)</b>	<b>45</b> <b>(6,5)</b>

*Nota:* M=média; DP=desvio padrão.

A idade na sessão TP2 foi significativamente maior que na sessão TP1, tanto para lactentes menos-habilidosos ( $Z=-2,207$ ;  $p=0,027$ ) como para os mais-habilidosos ( $Z=-1,826$ ;  $p=0,068$ ). Comparações entre as idades dentro de cada nível de habilidade mostraram não haver diferenças significativas entre os menos- e mais-habilidosos nas sessões TP1 ( $U=3$ ;  $p=0,054$ ) e TP2 ( $U=8$ ;  $p=0,386$ ).

Lactentes menos-habilidosos apresentaram menor frequência de alcances na sessão TP1 (17,7) que na TP2 (33,0) ( $X^2(1)=27,842$ ;  $p<0,01$ ); enquanto para os mais-habilidosos não houve diferença significativa entre as sessões TP1 (43,8) e TP2 (44,5) ( $X^2(1)=0,025$ ;  $p=0,873$ ). A frequência de alcances foi significativamente menor ( $X^2(1)=16,943$ ;  $p<0,01$ ) para os menos-habilidosos que para os mais-habilidosos na sessão TP1, com frequências de 17,7 e 43,8, respectivamente. Após um mês de prática (TP2), não houve diferença significativa ( $X^2(1)=1,064$ ;  $p=0,302$ ) entre os menos-habilidosos (33) e os mais-habilidosos (44,5).

Dessa forma, houve diferenças entre as idades para cada nível de habilidade (129 versus 159, e 147 versus 183 dias). No entanto, foram observadas mudanças significativas para a frequência de alcances somente para lactentes menos-habilidosos (17,7 para 33), embora o tempo de prática tendo sido similar (4 semanas) para ambos os grupos. Tais resultados estão representados na Figura 9.

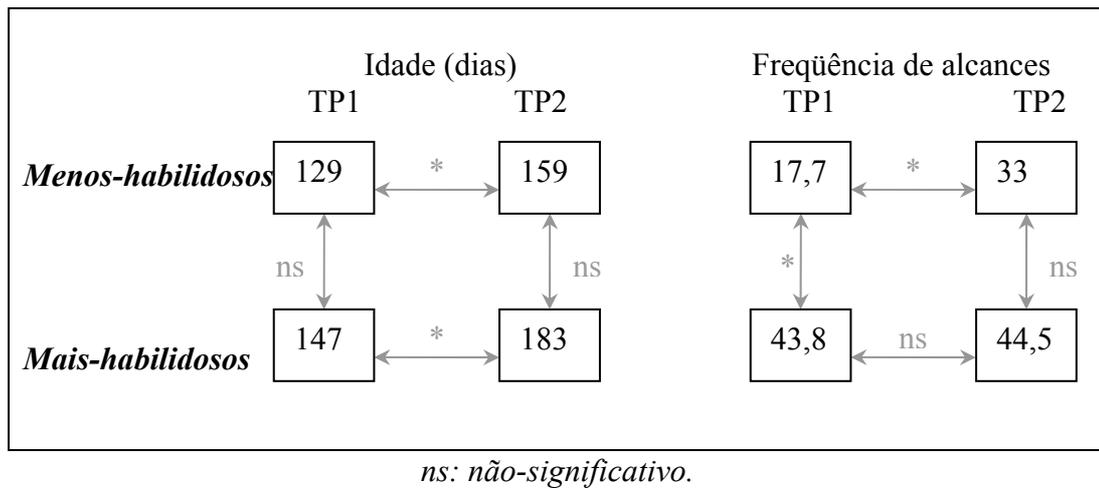


Figura 9: Resumo das comparações e diferenças inter- e intra- grupos.

### 3.2 Efeito da orientação corporal na frequência de alcances

A Figura 10A-E mostra a frequência de alcances nas sessões TP1, TP2 e TP3 para lactentes menos- e mais-habilidosos, nas posições supina, reclinada e sentada. Devido às diferenças encontradas para a frequência total de alcances dos lactentes menos-habilidosos nas sessões TP1 e TP2, nós verificamos o efeito de maior tempo de prática através da inclusão das análises dos alcances realizados pelos lactentes menos-habilidosos após 2 meses de prática espontânea (TP3) (M=244 dias de idade, DP=2,16 dias).

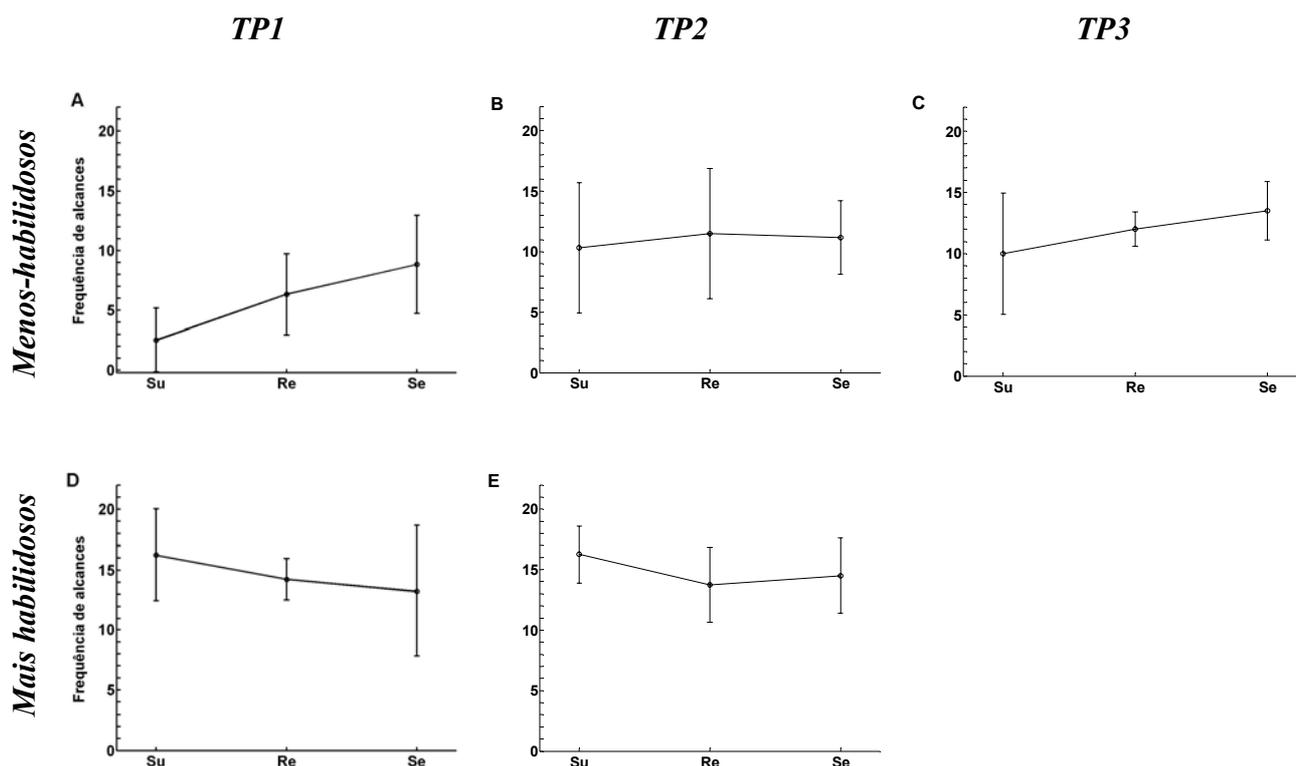


Figura 10A-E: Média e desvio padrão da frequência de alcances para os lactentes menos- e mais-habilidosos na aquisição do alcance (TP1) e após um (TP2) e dois meses (TP3) de prática.

O teste qui-quadrado foi aplicado para verificar se os níveis de habilidade influenciaram a frequência de alcances nas diferentes orientações corporais. Para este propósito, o teste foi aplicado entre as orientações corporais, especificamente naqueles grupos nos quais foram encontradas diferenças em relação aos níveis de habilidade e o tempo de prática, como descritos no item 3.1.

Na condição TP1, os menos-habilidosos executaram menor frequência de alcances em supino ( $X^2(1)=31,250$ ;  $p<0,01$ ), quando comparados com os mais-habilidosos. Houve tendência de menor frequência ( $X^2(1)=3,8$ ;  $p=0,051$ ) para os lactentes menos-habilidosos na posição reclinada em comparação com os mais-habilidosos. A frequência de alcances para ambos os níveis de habilidade foi similar na posição sentada, como mostrado nas Figuras 10A e 10D.

Para os lactentes menos-habilidosos, a frequência de alcances na posição supina foi menor em TP1 quando comparada à TP2 ( $X^2(1)=28,688$ ;  $p<0,01$ ) e TP3 ( $X^2(1)=11,364$ ;  $p=0,001$ ); e também, a frequência foi menor em TP2 quando comparada à TP3 ( $X^2(1)=4,745$ ;

$p=0,029$ ). Na posição reclinada, a frequência de alcances na sessão TP1 foi menor que na TP2 ( $X^2(1)=8,981$ ;  $p=0,003$ ). Outras comparações entre TP1 e TP2 e entre TP1 e TP3 para os lactentes menos-habilidosos não indicaram diferença significativa (Figura 10A-C).

Resumindo, a experiência do alcance influenciou a frequência de alcances somente nas posições supina e reclinada, como mostrado pelas diferenças entre menos-habilidosos na condição TP1 e os outros grupos. Por outro lado, a experiência do alcance não exerceu influência na frequência de alcances na posição sentada.

### *3.3. Efeito das orientações corporais nos parâmetros cinemáticos do alcance*

Dos 799 movimentos de alcance realizados, 147 foram excluídos da análise cinemática devido a erros experimentais (quando o lactente iniciava o alcance com a mão próxima ao brinquedo ou quando os marcadores não eram visualizados por mais de 10% da duração do alcance) ou choro do lactente. A Tabela 4 mostra as variáveis cinemáticas desses 652 alcances analisados nas posições supina, reclinada e sentada para lactentes menos- e mais-habilidosos nas sessões TP1, TP2 e TP3.

Após detectar os grupos afetados pela experiência (nível de habilidade e tempo de prática) e orientação corporal, testes estatísticos foram realizados para verificar possíveis diferenças para os parâmetros cinemáticos do alcance entre esses grupos.

Para interpretação dos dados cinemáticos, um alcance foi considerado refinado, como resultado da melhora no controle da motricidade dos membros superiores, por meio da diminuição da duração, índice de desaceleração e número de unidades de movimento, e aumento no índice de retidão e parâmetros de velocidade.

Tabela 4: Mediana da duração (s), índice de desaceleração, índice de retidão, número de unidades de movimento, velocidade média (m/s) e velocidade no toque (m/s), em cada orientação corporal, para os lactentes menos- e mais-habilidosos na aquisição do alcance (TP1) e após um (TP2) e dois meses (TP3) de prática.

	Sem- experiência						TP2						TP3		
	Menos-habilidosos			Mais-habilidosos			Menos-habilidosos			Mais-habilidosos			Menos-habilidosos		
<i>Temporal</i>	<i>Su</i>	<i>Re</i>	<i>Se</i>	<i>Su</i>	<i>Re</i>	<i>Se</i>	<i>Su</i>	<i>Re</i>	<i>Se</i>	<i>Su</i>	<i>Re</i>	<i>Se</i>	<i>Su</i>	<i>Re</i>	<i>Se</i>
Duração	1.3	1.333	0.808	1.183	0.933	0.933	1.042	1.15	0.9	1.408	1.108	0.883	1.117	1.25	0.85
Índice de desaceleração	0.513	0.441	0.323	0.592	0.561	0.444	0.451	0.351	0.305	0.651	0.582	0.526	0.484	0.56	0.473
<i>Espacial</i>															
Índice de retidão	0.763	0.682	0.729	0.666	0.63	0.593	0.81	0.732	0.824	0.684	0.677	0.768	0.815	0.821	0.838
Unidades de movimento	4	3	3	4	3	3	3	3	2	4	3	2	3	3	2
<i>Espaço-temporal</i>															
Velocidade média	0.135	0.155	0.221	0.253	0.27	0.227	0.253	0.177	0.266	0.202	0.228	0.236	0.251	0.202	0.297
Velocidade no toque	0.133	0.176	0.22	0.207	0.185	0.286	0.218	0.135	0.219	0.147	0.19	0.197	0.236	0.148	0.206

*Su*= supino; *Re*=reclinado; *Se*=sentado

### 3.3.1. Menos-habilidosos versus mais-habilidosos na condição TP1

Inicialmente, comparamos os parâmetros cinemáticos do alcance de lactentes menos- e mais-habilidosos na sessão TP1. Os testes indicaram que velocidade média ( $U=59$ ;  $p<0,01$ ) e velocidade no toque ( $U=150$ ;  $p=0,005$ ) foram menores para os menos-habilidosos na posição supina. Na reclinada, duração ( $U=57$ ;  $p<0,01$ ) foi maior e velocidade média ( $U=432$ ;  $p<0,01$ ) foi menor para os mais-habilidosos. Na posição sentada, não houve diferenças significativas entre ambos os grupos de lactentes, indicando melhora no alcance nesta orientação corporal para os menos-habilidosos. Em outras palavras, os lactentes menos-habilidosos assemelharam-se aos mais-habilidosos na orientação sentada em TP1.

### 3.3.2. Efeitos da prática espontânea para os lactentes menos-habilidosos

Para identificar o desenvolvimento do alcance dos lactentes menos-habilidosos, os parâmetros cinemáticos do alcance foram comparados de três formas distintas. Primeiramente, comparações entre as posições supina, reclinada e sentada foram realizadas para os menos-habilidosos nas sessões TP1 e TP2, bem como para os mais-habilidosos na sessão TP1. O segundo grupo de comparações foi realizado para os menos-habilidosos entre as sessões TP1, TP2 e TP3 em cada orientação corporal. No terceiro grupo de comparações, os mais-habilidosos na sessão TP1 foram comparados aos menos-habilidosos em TP2.

Para os lactentes menos-habilidosos na sessão TP1, velocidade média ( $H(2)=9,627$ ;  $p=0,008$ ) e velocidade no toque ( $H(2)=7,549$ ;  $p=0,023$ ) foram maiores em sentado, enquanto duração ( $H(2)=10,146$ ;  $p=0,007$ ) foi menor nessa posição. Para o mesmo grupo na sessão TP2, duração ( $H(2)=6,735$ ;  $p=0,034$ ) e número de unidades de movimento ( $H(2)=12,912$ ,  $p=0,002$ ) foram menores na posição sentada, enquanto velocidade média ( $H(2)=16,485$ ;  $p<0,01$ ) e velocidade no toque ( $H(2)=9,525$ ;  $p=0,009$ ) foram menores em reclinado. Para os lactentes mais-habilidosos em TP1, não houve diferenças significativas para os parâmetros cinemáticos entre as orientações corporais.

O segundo grupo de comparações mostrou que velocidade média ( $H(2)=15,192$ ;  $p=0,001$ ) e velocidade no toque ( $H(2)=7,829$ ;  $p=0,02$ ) foram menores na sessão TP1 para a posição supina. Em reclinado, o índice de desaceleração ( $H(2)=9,419$ ;  $p=0,009$ ) foi menor em TP2. Na posição sentada, índice de retidão ( $H(2)=7,490$ ;  $p=0,024$ ) e velocidade média ( $H(2)=7,554$ ;  $p=0,023$ ) foram menores na sessão TP1.

Para o terceiro grupo de comparações, em supino, o número de unidades de movimento ( $U=884$ ;  $p=0,016$ ) foi maior para os mais-habilidosos na sessão TP1. Em reclinado, velocidade média ( $U=777$ ;  $p<0,01$ ) e velocidade no toque ( $U=1008,5$ ;  $p=0,03$ )

foram menores para os menos-habilidosos em TP2. Em sentado, menor número de unidades de movimento foi encontrado para os menos habilidosos em TP2 ( $U=715,5$ ;  $p=0,008$ ).

### *3.3.3. Resumo dos achados*

Em resumo, as orientações corporais supina e reclinada afetaram os alcances dos lactentes de acordo com os níveis de habilidade, como evidenciado pelas diferenças encontradas nos parâmetros temporais e espaço-temporais entre lactentes menos- e mais-habilidosos na sessão TP1. Observou-se também que os lactentes mais-habilidosos apresentaram melhor desempenho que os menos-habilidosos nas posições supina e reclinada em TP1, e que na posição sentada os alcances dos lactentes menos-habilidosos assemelharam-se aos dos mais-habilidosos. Ainda em TP1, os lactentes menos-habilidosos apresentaram alcances com maiores velocidades na posição sentada que em supino e reclinado, e para os mais-habilidosos não houve diferença entre as orientações corporais.

Em relação ao tempo de prática (TP1, TP2 e TP3), os lactentes menos-habilidosos executaram melhores alcances após prática espontânea. Os alcances dos lactentes menos-habilidosos em TP2 não se assemelharam àqueles dos lactentes mais-habilidosos na sessão TP1, nas três orientações corporais. Os lactentes mais-habilidosos na sessão TP1 executaram melhores alcances que os menos-habilidosos em TP2 na posição reclinada. Em contrapartida, em supino e reclinado, os lactentes menos-habilidosos em TP2 apresentaram alcances com menor número de unidades de movimento que os lactentes mais-habilidosos em TP1.

## **4. Discussão**

A literatura fornece poucos dados sobre os efeitos do tempo de prática e nível de habilidade no alcance adaptativo. Além disso, o desenvolvimento do alcance adaptativo tem sido relacionado apenas à idade do lactente. O presente estudo tem um caráter exploratório pois, através de uma pequena amostra de lactentes, objetivou-se investigar fatores desenvolvimentais, como idade, nível de habilidade e tempo de prática, separadamente.

### *Idade e nível de habilidade*

O presente estudo controlou o tempo de prática, mas a idade dos lactentes variou dentro das sessões. Os dados indicaram diferenças entre os níveis de habilidade, evidenciado pela variável frequência de alcances na posição supina, quando os lactentes realizaram seus primeiros movimentos de alcance no laboratório. Convém ressaltar que essas diferenças na frequência de alcances não foram resultantes da idade, mas do nível de habilidade no alcance.

Lactentes de mesma faixa etária (4-5 meses na sessão TP1) apresentaram freqüências de alcances que estavam relacionadas aos seus níveis de habilidade. No entanto, após um mês de prática espontânea e conseqüente ganho de experiência, lactentes menos-habilidosos aumentaram suas freqüências de alcances e geraram resultados similares aos de lactentes mais-habilidosos na sessão TP1.

Segundo Corbetta e Thelen (1996) e Van Hof (2005), existe uma restrição intrínseca que é a preferência de coordenação inerente ao lactente ou dinâmica intrínseca. Os autores encontraram essa preferência intrínseca para coordenação unimanual ou bimanual dos membros superiores. Acreditamos que esta restrição pode também explicar porque os lactentes apresentam diferentes níveis de habilidade na fase de aquisição do alcance. Em outras palavras, a dinâmica intrínseca pode ser a causa das diferenças encontradas entre lactentes menos- e mais-habilidosos. Outra possível explicação para as diferenças encontradas entre os níveis de habilidade para lactentes de mesma idade pode ser baseada nas relações cuidador-lactente e interação com o objeto. Lobo, Galloway e Savelsbergh (2004) demonstraram que a experiência precoce do movimento no período de aquisição do alcance aumentou a habilidade dos lactentes em executar o movimento. Lactentes que receberam 14 dias de interação diária com o brinquedo, a qual foi mediada por seus pais, apresentaram maiores freqüência e tempo de interação com o brinquedo em comparação a um grupo controle. De acordo com Gibson e Pick (2000), adultos mudam o ambiente social quando eles percebem que os lactentes estão respondendo a seus estímulos. Por exemplo, se o lactente demonstra atenção ou tentativa de alcançar um brinquedo, o adulto tentará mostrá-lo mais freqüentemente e/ou mostrar diferentes objetos. Os autores indicam que lactentes muito jovens se interessam espontaneamente em uma quantidade significativa de auto-educação. É possível que os pais dos lactentes mais-habilidosos estavam mais envolvidos na interação com seus filhos que os pais de lactentes menos-habilidosos. Conseqüentemente, lactentes mais-habilidosos estavam aptos a desempenharem melhores alcances precocemente.

#### *Nível de habilidade e comportamento de alcance nas diferentes orientações corporais*

A orientação corporal influenciou o alcance de lactentes menos-habilidosos em TP1, tanto em termos da freqüência como da cinemática do movimento. Na posição sentada, os lactentes mostraram similar freqüência de alcances, independente do nível de habilidade e tempo de prática, e não foram encontradas diferenças significativas para as variáveis cinemáticas entre os lactentes menos- e mais-habilidosos em TP1. Este resultado suporta os achados de Savelsbergh e Van der Kamp (1994), Out et al. (1998) e Rochat (1992), que a

posição sentada facilita o alcance de lactentes no período de aquisição dessa habilidade. Além disso, os lactentes menos-habilidosos na sessão TP1 executaram menor frequência de alcances nas posições supina e reclinada que os lactentes mais-habilidosos na mesma sessão de teste. A relação entre o menor desempenho no alcance e a posição supina é atribuída à instabilidade mecânica dos braços e a necessidade de maior torque muscular no início do movimento em supino (Carvalho et al., 2007a; Savelsbergh e Van der Kamp, 1994; Out et al., 1998). Os lactentes mais-habilidosos, de mesma faixa etária e sessão de teste que os menos-habilidosos, não apresentaram diferenças na frequência e nos parâmetros cinemáticos do alcance entre as posições corporais. Em oposição, os lactentes menos-habilidosos apresentaram diferenças entre as orientações corporais para as variáveis cinemáticas do movimento, independente da sessão de teste. Portanto, o melhor nível de habilidade, evidenciado pela maior frequência de alcance em supino, foi concomitante com a melhora na habilidade para controlar o alcance nas diferentes orientações corporais. Baseado nestes resultados, sugerimos que o nível de habilidade é um importante fator no desenvolvimento do alcance adaptativo. Além disso, os lactentes mais-habilidosos encontraram precocemente uma solução para os problemas biomecânicos relacionados à orientação corporal. É importante ressaltar que o nível de habilidade não é um fator único, mas que a melhora na acuidade visual, coordenação olho-mão, processos cognitivos, controle postural e aprendizagem do movimento (Fallang et al., 2000; Rocha et al., 2006a; Rochat & Goubert, 1995; Van Hof, Van der Kamp & Savelsbergh, 2004, 2006) também contribuem para a estabilização do alcance nas diferentes orientações corporais.

#### *A influência do tempo de prática*

Os resultados mostraram aumento da frequência de alcances nas posições supina e reclinada com o aumento no tempo de prática para os lactentes menos-habilidosos. Após aproximadamente um mês de prática espontânea e conseqüente ganho de experiência, os lactentes menos-habilidosos apresentaram frequência de alcances semelhante aos mais-habilidosos na sessão PT1. Esse resultado sugere que, além do nível de habilidade, o tempo de prática é um fator importante para que o lactente encontre soluções adequadas para os problemas biomecânicos relacionados à gravidade. Os lactentes mais-habilidosos em PT1 não apresentaram diferenças nos parâmetros cinemáticos entre as orientações corporais, enquanto os lactentes menos-habilidosos continuaram a apresentar diferenças entre as orientações corporais mesmo após um mês de prática espontânea. Embora os lactentes menos-habilidosos na segunda sessão de teste (PT2) fossem mais velhos que os mais-habilidosos na primeira

---

sessão (PT1), os menos habilidosos ainda apresentavam alcances menos controlados na orientação reclinada. Este resultado confirma que a idade não é o único fator preditivo para o desenvolvimento do alcance adaptativo, mas que o nível de habilidade desempenha importante papel nesse processo.

O nível de habilidade no alcance influencia nas soluções encontradas pelos lactentes para os problemas relacionados à gravidade, sendo que o nível de habilidade está relacionado ao número de oportunidades que os lactentes têm para explorar seus movimentos de alcance. Exploração e adaptação são partes importantes do processo de aprendizagem, permitindo aos lactentes melhorar sua percepção e ação sobre as oportunidades que o ambiente oferece. O refinamento do alcance resulta do aumento da habilidade de captar informações relevantes do ambiente, as quais especificam novas oportunidades de ação. O desenvolvimento das capacidades de ação muda a relação entre um organismo ativo e o ambiente. Esse processo é definido como aprendizagem perceptual (Gibson, 1969; Gibson & Pick, 2000). A aprendizagem acontece quando os lactentes estão aptos a executar movimentos exploratórios adequados que tornam avaliáveis as informações essenciais necessárias para as respostas adaptativas (Adolph, 1997). Portanto, enfatizamos que, além das restrições extrínsecas (como as diferentes orientações corporais) e intrínsecas (como a idade), a experiência relacionada a fatores como o nível de habilidade e o tempo de prática deve ser considerada nas pesquisas sobre o desenvolvimento do alcance.

### **Estudo 3**

**As orientações corporais influenciam os ajustes proximais e distais do alcance de lactentes**



## RESUMO

Embora a literatura evidencie o desenvolvimento e impacto das diferentes posições corporais no alcance, há poucas pesquisas que relatem a influência de ambos, considerando o nível de experiência do lactente. Este estudo propõe-se verificar influência de restrições intrínsecas (nível de habilidade e experiência) e extrínsecas (posições corporais) no alcance. Dez lactentes, classificados como menos ( $n=6$ ) e mais habilidosos ( $n=4$ ), foram avaliados no mês de aquisição da habilidade e após 1 mês de prática espontânea, nas posições supina ( $0^\circ$ ), reclinada ( $45^\circ$ ) e sentada ( $70^\circ$ ). Foram analisados aos ajustes proximais (alcances uni e bimanuais) e distais (mão aberta, semi-aberta e fechada), posição das mãos no início do movimento (perto e longe do tronco) e preensão. Os resultados indicaram que o nível de habilidade afetou os ajustes proximais do alcance de lactentes menos habilidosos. Houve predomínio de alcances com as mãos semi-abertas, exceto para lactentes mais habilidosos, em reclinado, após 1 mês de prática. Lactentes menos habilidosos apresentaram mãos próximas ao tronco na aquisição (reclinado e sentado) e após 1 mês de prática (reclinado), enquanto os mais habilidosos iniciaram seus alcances com as mãos longe do tronco em supino, após prática. Quanto à preensão, menos habilidosos realizaram mais alcances sem preensão em supino, na aquisição, e mais habilidosos fizeram alcances com preensão em sentado, após prática. Conclui-se que tanto as restrições intrínsecas (nível de habilidade e experiência) como as extrínsecas (posições corporais) influenciam no alcance de lactentes jovens.

## 1. INTRODUÇÃO

O primeiro ano de vida representa um período de muitas descobertas, no qual o lactente se desenvolve e aprende a controlar seus movimentos, a partir da exploração de suas potencialidades e do mundo ao redor. O alcance manual é um importante meio de exploração do ambiente, sendo esta habilidade adquirida entre o terceiro e sexto mês de vida (Berthier et al., 1999; Thelen et al., 1993).

O alcance é considerado bem sucedido quando este é finalizado com apreensão do objeto. Para que isso ocorra, é necessário que o lactente seja capaz de coordenar e controlar o movimento, realizando ajustes proximais e distais de seus membros superiores. Ajuste proximal refere-se à iniciativa de direcionar um ou ambos os membros superiores (alcances uni e bimanual) para alcançar o objeto, enquanto ajuste distal trata-se do posicionamento da mão e dos dedos para tocar e apreender o objeto (Fagard, 2000; Rocha et al., 2006a).

Durante o desenvolvimento do alcance, existem fatores intrínsecos e extrínsecos ao organismo que podem delimitar o controle e a coordenação da ação. Esses fatores são definidos como restrições (Newell, 1986). A literatura relata que restrições intrínsecas ao organismo são capazes de alterar os ajustes proximais do alcance, observados pela flutuação entre alcances unimanuais e bimanuais durante o primeiro ano de vida do lactente (Corbetta & Thelen, 1996; Fagard & Peze, 1997). Além disso, restrições extrínsecas ao organismo como o uso de objetos de diferentes tamanhos (Van Hof et al., 2006) e texturas (Rocha et al., 2006a) e diferentes posições corporais (Fallang et al., 2000; Rochat, 1992; Savelsbergh & van der Kamp, 1993) também influenciam nos ajustes proximais do alcance.

Rochat (1992), em um estudo transversal, verificou que lactentes de 5 a 6 meses realizaram mais alcances unimanuais na posição sentada, em comparação às posições supina, reclinada e prona. Fallang et al. (2000) analisaram os alcances de lactentes na posição supina e encontraram maior frequência de alcances unimanuais aos 4 meses e similar frequência de alcances uni e bimanuais aos 6 meses. Embora estudos mostrem a influência da idade e do nível de controle postural na coordenação dos membros superiores durante o alcance, há escassez de estudos sobre a influência da experiência no desenvolvimento dessa habilidade, especialmente quando restrições extrínsecas são impostas à ação.

Existem diferenças intrínsecas entre os lactentes as quais os tornam mais ativos ou passivos frente aos estímulos apresentados pelo ambiente. Dessa forma, lactentes de mesma faixa etária podem apresentar diferentes níveis de uma mesma habilidade, seja por influência da dinâmica intrínseca (Corbetta & Thelen, 1996; Van Hof, 2005), seja pela experiência adquirida pela prática (Lobo et al., 2004). Essa informação é confirmada pelos estudos sobre

locomoção em superfícies com diferentes inclinações (Adolph, 1997, 2000) e alcance em diversas posições corporais (Carvalho, Tudella & Savelsbergh, 2007a, 2007b), os quais indicam que o nível de experiência é melhor indicador da aquisição e desenvolvimento de uma habilidade do que a idade. Por isso, o presente estudo propõe-se a avaliar o alcance em diferentes orientações corporais de acordo com o nível de habilidade e experiência do lactente em alcançar objetos. Convém ressaltar que se trata do primeiro estudo que avalia os ajustes proximais e distais no alcance em diferentes posições, considerando a restrição experiência.

Para determinar o nível de habilidade do lactente no alcance, utilizaremos o mesmo critério de classificação usado por Carvalho, Tudella e Salversbergh (2007b), baseado na capacidade do lactente em realizar a mesma frequência de alcances nas posições supina, reclinada e sentada. Dessa forma, lactentes de mesma faixa etária serão comparados em relação ao nível de habilidade, ao invés da idade. Quanto ao nível de experiência, este será avaliado para cada grupo, no mês de aquisição do alcance e após um mês de prática espontânea.

Baseado nesses estudos (Carvalho, Tudella e Salversbergh, 2007b; Corbetta & Thelen, 1996; Fallang et al., 2000; Rochat, 1992), algumas predições foram levantadas. Para lactentes de mesma faixa etária, esperamos que maior frequência de alcances unimanuais na posição sentada (Rochat, 1992; Savelsbergh & Van der Kamp, 1993) seja verificada somente nos lactentes “sem” ou “com pouca” habilidade no alcance porque estes lactentes apresentam menor desempenho no alcance em relação aos parâmetros cinemáticos e frequência de alcances no período de aquisição do comportamento de alcance (Carvalho, Tudella e Salversbergh, 2007b). Por isso, os lactentes com pouca habilidade precisam utilizar estratégias que possam garantir um melhor desempenho no alcance. Dessa forma, a primeira hipótese a ser testada é que nível de habilidade influenciará nos ajustes proximais do alcance realizado em diferentes posições corporais.

Os ajustes distais vêm sendo utilizados como parâmetro para análise da influência das propriedades dos objetos no alcance de lactentes (Corbetta & Thelen, 2000; Fagard, 2000; Von Hof et al., 2006; Rocha et al., 2006a). No entanto, no presente estudo, esta variável será usada como indicador do grau de dificuldade para a realização do movimento. Sabe-se que o torque muscular do braço, exigido para vencer o torque gravitacional no início do movimento de alcance, é maior na posição supina que na sentada. Isso se deve à maior distância entre centro de massa do membro superior e o eixo rotacional localizado no ombro, na posição supina (Out et al, 1998). Por isso, nessa posição, os lactentes podem utilizar a estratégia de co-contração entre agonistas e antagonistas (Berthier et al., 1999, Savelsbergh & Van der

Kamp, 1994) para vencer o maior torque muscular necessário para a realização do alcance, sendo esta a segunda hipótese deste estudo. Essa estratégia pode resultar na flexão do membro superior, com conseqüente fechamento da mão. Savelsbergh e Van der Kamp (1994) verificaram maior freqüência de alcance com mãos abertas em comparação às mãos fechadas, com o aumento da idade. Além disso, houve aumento na freqüência de mãos abertas e preensão do objeto da posição supina para reclinada e sentada. Outra estratégia sugerida por Savelsbergh e Van der Kamp (1994) é diminuir a distância perpendicular entre o centro de massa do membro superior e o eixo rotacional, através do posicionamento das mãos próximas ou distantes do tronco. Com isso, a terceira hipótese levantada é que o nível de habilidade influenciará no posicionamento da mão no início do alcance (próxima e longe do corpo). Assim, lactentes “sem” ou “com pouca” habilidade no alcance utilizarão essa estratégia de iniciar o movimento com as mãos próximas ao tronco e de co-contração de agonista e antagonista para realizar os alcances na posição supina, resultando em mais alcances com as mãos fechadas. Além disso, uma quarta hipótese testada será que o nível de habilidade influenciará na freqüência de alcances seguidos de preensão, uma vez que a preensão requer controle proximal e distal da motricidade dos membros superiores.

Nesse estudo de desenho longitudinal, nós questionamos como os lactentes se adaptam às restrições intrínsecas (nível de habilidade e experiência) e extrínsecas (diferentes posições corporais) do alcance. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência de restrições intrínsecas e extrínsecas nos parâmetros categóricos do alcance de lactentes. Esse artigo é uma extensão do trabalho de Carvalho, Tudella e Savelsbergh (2007b), que busca verificar o efeito da experiência no alcance de lactentes de mesma faixa etária, posicionados em diferentes orientações corporais.

## **2. METODOLOGIA**

### *2.1. Participantes*

Participaram deste estudo 10 lactentes considerados saudáveis, 8 do sexo feminino e 2 do sexo masculino, com idade gestacional superior a 37 semanas e índice de Apgar igual ou superior a 8 no primeiro e quinto minutos. Foram avaliados longitudinalmente do quarto ao sexto mês de vida, com tolerância de 7 dias anteriores ou posteriores à data do aniversário do lactente. Esses lactentes foram classificados e agrupados de acordo com seu nível de habilidade no alcance. Como critério de classificação, utilizamos a freqüência de alcances na posição supina, baseados no fato que maior freqüência nessa posição indica maior controle e coordenação do alcance (Carvalho, Tudella & Savelsbergh, 2007b). Lactentes cujas

freqüências em supino foram significativamente menores que nas posições reclinada e sentada foram classificados como menos-habilidosos. Enquanto lactentes com similar freqüência entre as posições foram denominados mais-habilidosos.

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da UFSCar (protocolo nº092/2002) (Apêndice 2), e os pais ou responsáveis pelo lactente assinaram previamente o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice 3).

## *2.2. Materiais e procedimentos*

Os lactentes foram avaliados em três posições corporais distintas: supina (0° de inclinação com a horizontal), reclinada (45°) e sentada (70°). A seqüência das posições foi escolhida aleatoriamente. Após confortavelmente posicionado em uma cadeira infantil (Carvalho, Tudella & Barros, 2005) (Figura 3) e, após um tempo de adaptação de 20s, foi oferecido ao lactente um estímulo para que realizasse o alcance. Como dispositivo de estímulo foram usados 3 brinquedos considerados atrativos e de tamanho pequeno (Figura 5). O primeiro brinquedo foi apresentado na altura do manúbrio do esterno, a uma distância correspondente ao comprimento entre o ombro e o punho do lactente. Após cada alcance, o brinquedo era retirado e apresentado novamente, durante 2 minutos. O mesmo procedimento foi repetido para o segundo brinquedo. Caso o lactente não se interessasse por um dos brinquedos apresentados, este era substituído pelo terceiro brinquedo para a continuidade da avaliação. Esse procedimento foi repetido em todas as posições, totalizando aproximadamente 13 minutos de experimento.

Toda a fase experimental foi filmada por três câmeras digitais (Figura 6), uma posicionada pósterio-superiormente e as outras duas localizadas anterior e diagonalmente à cadeira, estando uma à direita e a outra à esquerda (Carvalho et al., 2005). Um software (Dvideow – Barros et al., 1999) foi utilizado para que as imagens pudessem ser analisadas frame-a-frame, após terem sido transferidas das fitas digitais para o computador. Foi realizado um Estudo de Fidedignidade inter-observadores com o propósito de garantir confiabilidade na análise dos resultados. Após análise de três observadores, obteve-se um índice de 83,46%, o qual permitiu o início da conferência das imagens.

## *2.3. Descrição das variáveis dependentes*

Inicialmente, fez-se necessária a definição de alcance, além de seu início e final, sendo esta semelhante àquelas utilizadas por Corbetta & Thelen (1996), Fallang, Saugstad & Hadders-Algra (2000) e Rocha, Silva e Tudella (2006a). Determinamos alcance quando, após

localizar visualmente e fixar o olhar sobre o brinquedo, o lactente realizava um movimento com um ou ambos os membros superiores em direção ao alvo até tocá-lo. O início do alcance foi estabelecido como o momento em que foi observado o primeiro movimento do membro superior em direção ao brinquedo. Estabelecemos como final do alcance o momento no qual a mão do lactente tocou o brinquedo.

A variável *ajustes proximais* indica o tipo de coordenação inter-membros (unimanual ou bimanual) utilizada pelo lactente na realização do alcance. Foi considerado alcance unimanual quando um dos membros superiores realizou o alcance do objeto enquanto o outro ficou parado ou produziu um movimento com um atraso superior a 0,33s, ou realizou pequenos movimentos não orientados ao objeto (Corbetta e Thelen, 1996; Corbetta, Thelen e Johnson, 2000; Rocha et al., 2006a). Como alcance bimanual, foi considerado o movimento simultâneo (ou com um atraso menor a 0,33s entre um membro e outro) dos membros superiores em direção ao brinquedo. Além disso, as mãos deveriam se deslocar simultaneamente até pelo menos a metade do arco de movimento (50% da trajetória), sendo o toque realizado simultâneo ou alternadamente com ambas as mãos (Corbetta, Thelen e Johnson, 2000; Rocha et al., 2006a).

Como *ajustes distais*, consideramos o grau de abertura e fechamento das mãos. Foi considerada mão aberta quando as articulações metacarpofalangeanas e interfalangeanas estavam estendidas; mãos fechadas quando as articulações metacarpofalangeanas e interfalangeanas estavam fletidas; e mão semi-aberta quando as articulações metacarpofalangeanas estavam fletidas (independentemente do grau de flexão) e as interfalangeanas estendidas, ou ainda, quando as metacarpofalangeanas estavam estendidas e as interfalangeanas fletidas (Rocha et al., 2006a). Esta variável foi analisada no início do alcance.

A *posição das mãos no início do alcance* foi analisada de acordo com seu posicionamento em relação ao tronco. Assim, as mãos foram classificadas como próxima e longe do corpo (Savelsbergh & Van der Kamp, 1994), conforme ilustrado na figura 11.

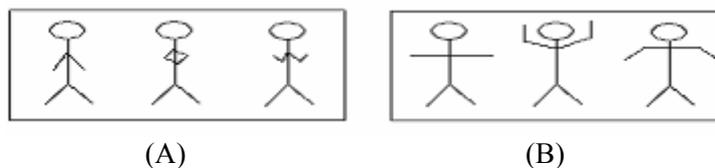


Figura 11: Desenho esquemático do critério de classificação para mãos próximas (A) e longe do corpo (B), no início do alcance (adaptada de Savelsbergh & Van der Kamp, 1994).

Os alcances também foram classificados como “*com ou sem preensão*”. A preensão foi definida como o fechamento de um ou mais dedos ao redor do brinquedo (Wimmers, Savlesbergh, Beek & Hoplins, 1997).

Na análise estatística, utilizamos o teste qui-quadrado para comparar níveis de habilidade (menos e mais habilidosos) e tempo de experiência (aquisição do alcance, um mês de prática), para os ajustes proximais e distais do alcance.

### 3. RESULTADOS

Foram considerados na análise os primeiros 7 alcances dos lactentes em cada posição. De acordo com a classificação adotada para o grau de experiência, 6 lactentes foram classificados como menos-habilidosos (5 dos quais adquiriram o alcance aos 4 meses e 1, aos 5 meses) e 4 como mais-habilidosos (1 dos quais adquiriu o alcance aos 4 meses e 3, aos 5 meses). A análise dos alcances no mês de aquisição da habilidade e após aproximadamente 1 mês de prática espontânea totalizaram 368 movimentos, sendo 201 alcances para lactentes menos-habilidosos e 167 para lactentes mais-habilidosos.

A figura 12 mostra a porcentagem de ajustes proximais nas três posturas avaliadas, no mês de aquisição do alcance e após prática espontânea, para os grupos de lactentes menos- e mais-habilidosos.

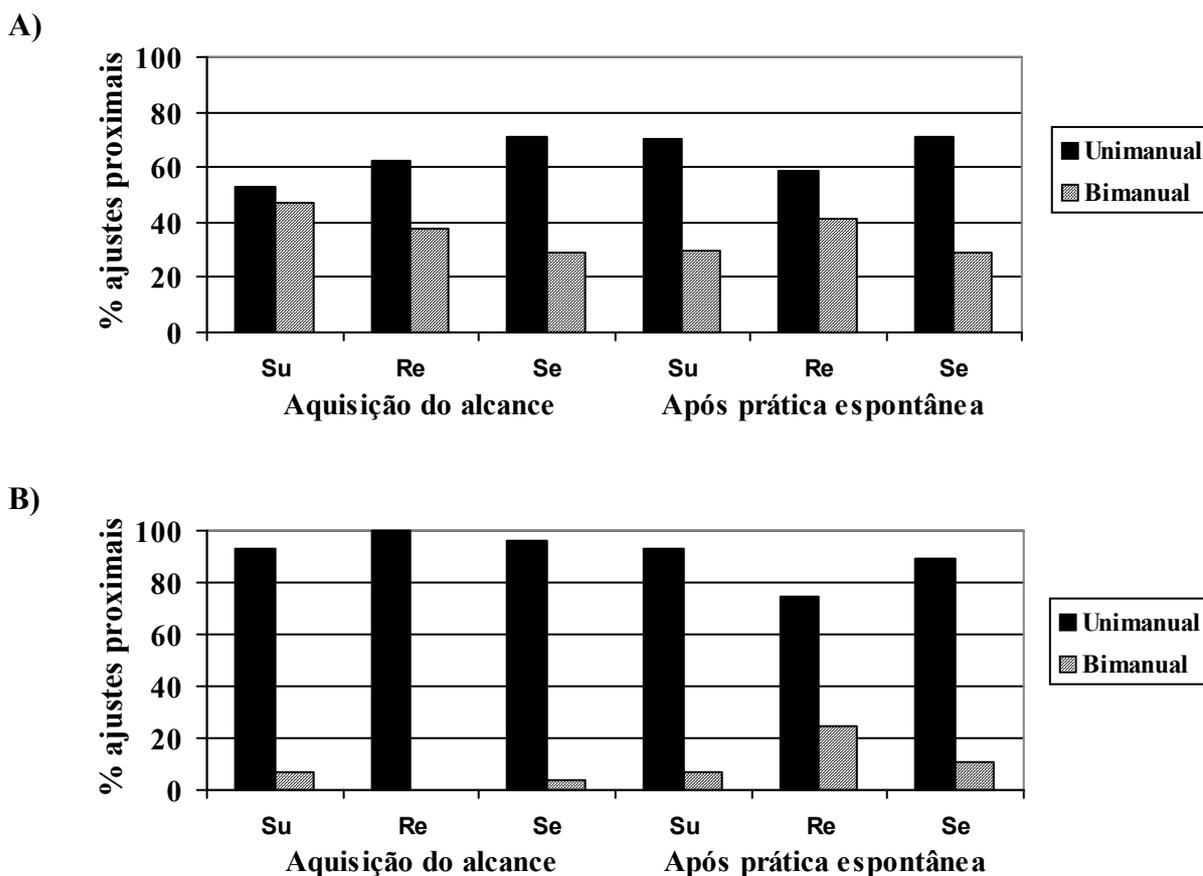


Figura 12: Porcentagem de alcances unimanuais e bimanuais nas posições supina (Su), reclinada (Re) e sentada (Se), no mês de aquisição do alcance e após prática espontânea para lactentes (A) menos- e (B) mais-habilidosos.

Para lactentes menos-habilidosos, a frequência de alcances unimanuais, em comparação aos bimanuais, foi significativamente maior no mês de aquisição do alcance na posição sentada ( $X^2(1)=6,737$ ;  $p=0,009$ ). Após prática espontânea, lactentes menos-habilidosos apresentaram maior frequência de alcances unimanuais que bimanuais nas posições supina ( $X^2(1)=6,081$ ;  $p=0,014$ ) e sentada ( $X^2(1)=7,714$ ;  $p=0,005$ ). Demais comparações não indicaram diferença estatisticamente significativa. Para lactentes mais-habilidosos, a frequência de alcances unimanuais foi superior nas três posições, tanto no mês de aquisição do alcance (para supino,  $X^2(1)=20,571$ ;  $p<0,01$ ; e para sentado,  $X^2(1)=23,148$ ;  $p<0,01$ ) como após prática espontânea (para supino,  $X^2(1)=20,571$ ;  $p<0,01$ ; para reclinado,  $X^2(1)=7$ ;  $p=0,008$ ; e para sentado  $X^2(1)=17,286$ ;  $p<0,01$ ).

A figura 13 mostra a porcentagem de ajustes distais no início do movimento de alcance para lactentes menos- e mais-habilidosos, no mês de aquisição da habilidade e após prática espontânea.

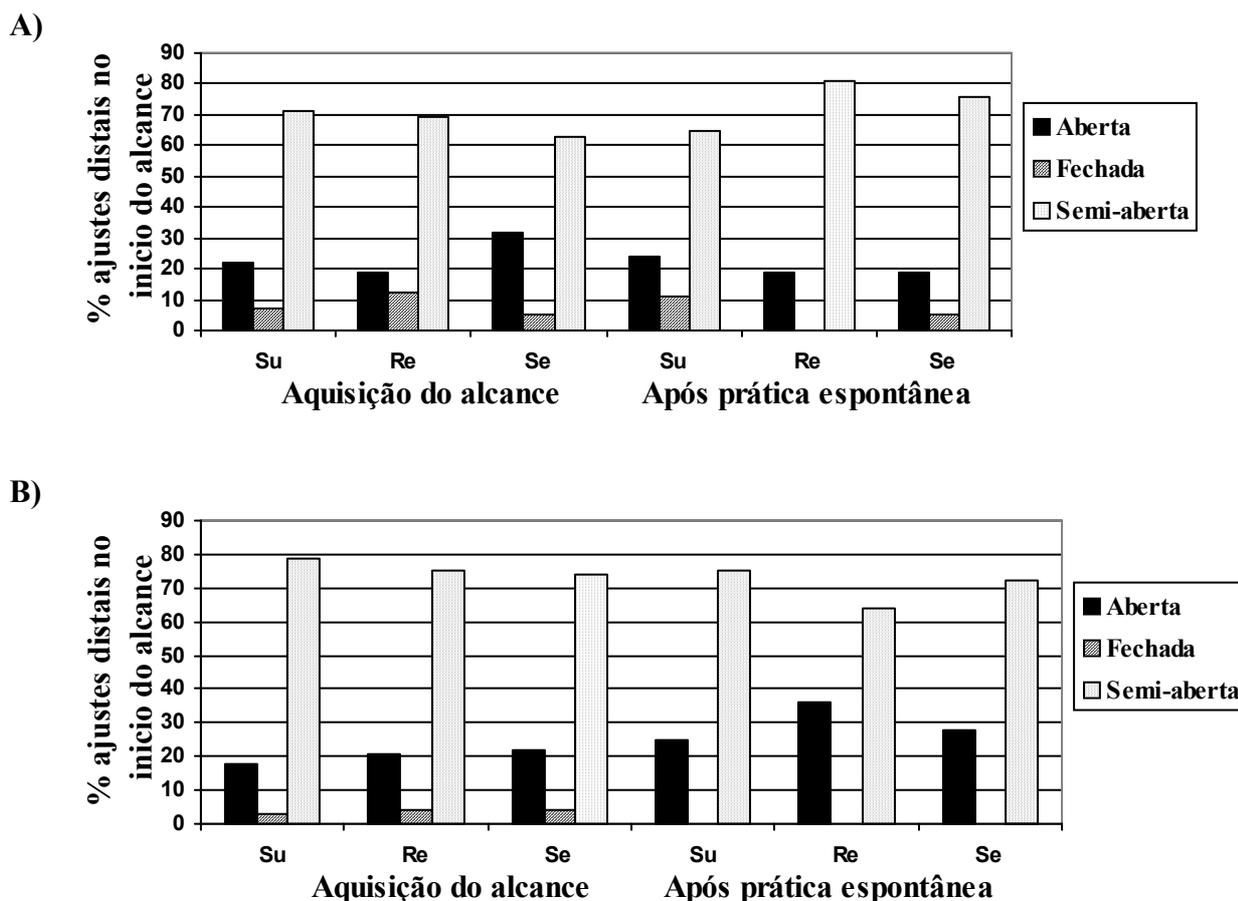


Figura 13: Porcentagem de mão aberta, fechada e semi-aberta no início do alcance, nas posições supina (Su), reclinada (Re) e sentada (Se), no início do alcance e após prática espontânea para lactentes (A) menos- e (B) mais-habilidosos.

Para lactentes menos-habilidosos, houve predomínio de mãos semi-abertas em todas as posições, no mês de aquisição do alcance (para supino,  $X^2(2)=11,2$ ;  $p=0,004$ ; para reclinado,  $X^2(2)=18,25$ ;  $p<0,01$  e para sentado,  $X^2(2)=19,158$ ;  $p<0,01$ ) e após prática espontânea (para supino,  $X^2(2)=17,568$ ;  $p<0,01$ ; para reclinado,  $X^2(2)=14,297$ ;  $p<0,01$  e para sentado,  $X^2(2)=36$ ;  $p<0,01$ ).

Para lactentes mais-habilidosos, também houve predomínio de mãos semi-abertas tanto na aquisição do alcance (para supino,  $X^2(2)=26,643$ ;  $p<0,01$ ; para reclinado,  $X^2(2)=23,214$ ;  $p<0,01$ ; para sentado,  $X^2(2)=21,556$ ;  $p<0,01$ ) como após prática espontânea (para supino,  $X^2(2)=7$ ;  $p<0,008$ ; e para sentado  $X^2(2)=5,143$ ;  $p=0,023$ ). Única exceção aconteceu na posição reclinada após prática espontânea, quando não houve diferenças significativas ( $X^2(2)=2,286$ ;  $p=0,131$ ) entre a frequência de mãos semi-abertas e abertas.

A figura 14 mostra a porcentagem de alcances iniciados com as mãos próximas e longe do corpo para lactentes menos- e mais-habilidosos, no início do alcance e após prática espontânea, nas três posições estudadas.

No mês de aquisição do alcance, lactentes menos-habilidosos iniciaram o movimento com as próximas ao corpo na posição reclinada ( $X^2(1)=8$ ;  $p=0,005$ ) e sentada ( $X^2(1)=8,526$ ;  $p=0,004$ ). Após prática espontânea, a frequência de alcances iniciados com as mãos próximas ao corpo foi significativamente maior somente na posição reclinada ( $X^2(1)=11,919$ ;  $p=0,001$ ). Para lactentes mais-habilidosos, houve diferença significativa ( $X^2(1)=9,143$ ;  $p=0,002$ ) somente para posição supina após prática espontânea, sendo maior a frequência de alcances iniciados com a mão longe do corpo. Demais comparações não indicaram diferença estatisticamente significativa para lactentes menos- e mais-habilidosos.

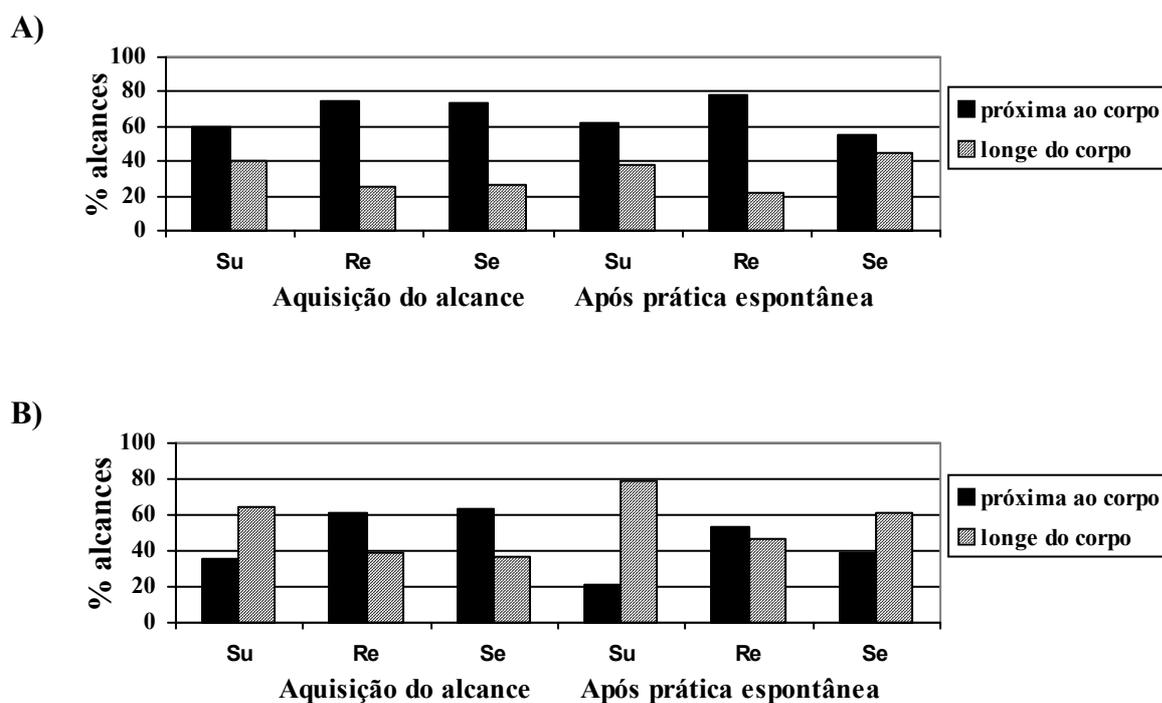


Figura 14: Porcentagem de alcances iniciados com as mãos próximas e longe do corpo, nas posições supina (Su), reclinada (Re) e sentada (Se), no início do alcance e após prática espontânea para lactentes (A) menos- e (B) mais-habilidosos.

A figura 15 ilustra a porcentagem de alcances seguidos ou não de apreensão do brinquedo, na aquisição do alcance e após prática espontânea, para ambos os grupos de lactentes menos- e mais-habilidosos.

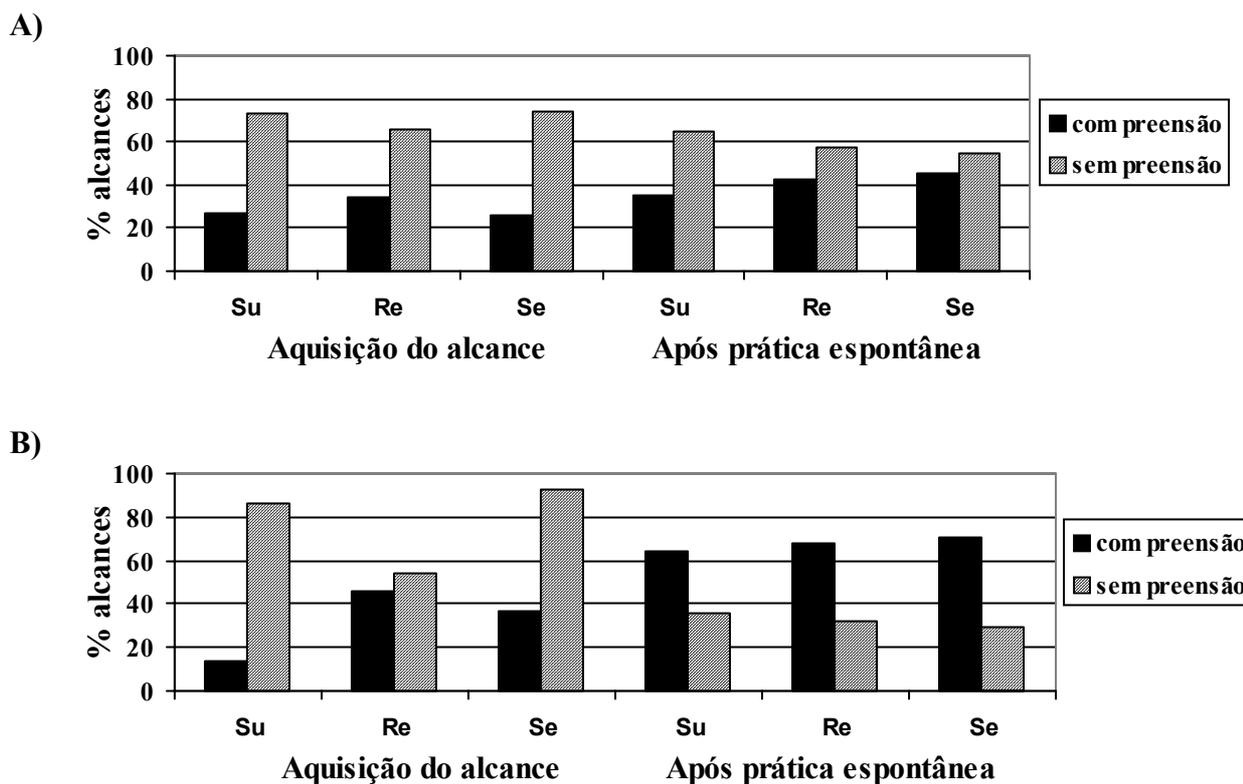


Figura 15: Porcentagem de alcances com e sem preensão, nas posições supina (Su), reclinada (Re) e sentada (Se), no início do alcance e após prática espontânea para lactentes (A) menos- e (B) mais-habilidosos.

A análise estatística indicou que a frequência de alcances sem preensão foi significativamente maior para lactentes menos-habilidosos apenas no mês de aquisição do alcance, na posição sentada ( $X^2(1)=8,526$ ;  $p=0,004$ ). Demais comparações não indicaram diferença significativa entre os alcances com e sem preensão.

Para lactentes mais-habilidosos, a frequência de alcances sem preensão foi significativamente maior no mês de aquisição do alcance em supino ( $X^2(2)=14,286$ ;  $p<0,01$ ). Após prática espontânea, a frequência de alcances com preensão foi significativamente maior na posição sentada ( $X^2(2)=5,143$ ;  $p=0,023$ ). Demais comparações não indicaram diferença estatisticamente significativa.

#### 4. DISCUSSÃO

Para verificar a influência da experiência e das diferentes posições corporais na coordenação dos membros superiores durante a execução do alcance, o presente estudo analisou os ajustes proximais e distais do alcance. Dois grupos de lactentes, classificados

---

como menos- e mais-habilidosos, foram avaliados no mês de aquisição do alcance e após um mês de prática espontânea. Nossos resultados demonstraram que ambos experiência e posição corporal influenciaram no alcance de lactentes jovens.

Na idade de aquisição do alcance, a qual variou entre 4 e 5 meses, o nível de experiência e as posições corporais influenciaram os ajustes proximais do alcance, confirmando nossa primeira hipótese. Lactentes menos-habilidosos apresentaram o mesmo comportamento relatado por Rochat (1992) e Savelsbergh e Van der Kamp (1993) de que a postura sentada favorece a execução de alcances unimanuais. Embora os lactentes tenham sido posicionados em uma cadeira a qual promove suporte postural, tal comportamento justifica-se pelo uso de um dos membros superiores no auxílio da manutenção da postura sentada enquanto o outro realiza o alcance (Rochat & Goubet, 1995). Sabe-se que movimentos rápidos geram forças, como a inércia, a qual os lactentes jovens ainda não são capazes de administrar (Thelen, Corbetta & Spencer, 1996), e que acabam promovendo desequilíbrio postural. Com isso, sugerimos que lactentes menos-habilidosos fizeram uso dessa estratégia de utilizar um membro superior como suporte postural durante a execução do alcance na posição sentada. É interessante notar que, nessa posição, lactentes menos-habilidosos realizaram mais alcances com as mãos próximas ao tronco no início do movimento. Este é mais um indício do uso de um membro superior como suporte postural, uma vez que, se a mão estivesse distante, o lactente não teria como se apoiar na cadeira. Portanto, esses resultados indicam que as diferentes posições corporais afetam os ajustes proximais do alcance em lactentes menos-habilidosos durante aquisição dessa habilidade. Entretanto, houve maior frequência de alcances sem preensão para lactentes menos-habilidosos quando sentados. Com isso, sugerimos que essas estratégias (realização de alcances unimanuais com mãos próximas ao tronco no início do movimento) favorecem a realização do alcance, mas essa facilitação não se estende à preensão do brinquedo.

Após prática espontânea e conseqüente ganho de experiência, lactentes menos-habilidosos apresentaram maior frequência de alcances unimanuais nas posições supina e sentada. Esperávamos que, após a prática, lactentes menos-habilidosos apresentassem comportamento semelhante aos lactentes mais-habilidosos no mês de aquisição do alcance, ou seja, que as diferentes posições corporais não influenciassem nos ajustes proximais do alcance. No entanto, não houve diferenças entre alcances uni e bimanuais na posição reclinada, após um mês de prática espontânea, para lactentes menos-habilidosos. Uma possível explicação é que a posição reclinada favoreceria a exploração do brinquedo com as duas mãos, resultando em aumento da frequência de alcances bimanuais. Isso se deve ao

melhor suporte postural oferecido por essa posição, uma vez que a força da gravidade não estaria continuamente trazendo o tronco do lactente para flexão, como na posição sentada (Out et al., 1998). E também, não haveria a necessidade de maior torque muscular do braço no início do alcance, como na posição supina. No entanto, nossos resultados não suportam integralmente essa suposição uma vez que o tipo de exploração do brinquedo não foi analisado. Assim, estudos são necessários para verificar se as diferentes posições corporais alteram a exploração do brinquedo realizada pelo lactente.

Para os lactentes mais-habilidosos, houve predomínio de alcances unimanuais nas posições supina, reclinada e sentada, tanto na aquisição do alcance como após prática espontânea. Semelhante resultado foi encontrado por Rochat (1992), o qual verificou que os lactentes com maior nível de controle postural apresentaram predomínio de alcances unimanuais nas posições supina, reclinada, sentada e prona. No entanto, Rochat (1992) usou o nível de controle postural na posição sentada (lactentes que apresentaram ou não o sentar independente) ao invés do nível de experiência no alcance, como no presente estudo. Apesar disso, esses estudos apresentaram resultados semelhantes, confirmando a existência de uma forte ligação entre controle postural e habilidade no alcance (Rochat, 1992; Rochat & Goubet, 1995; Van der Fits et al., 1999). Sendo assim, o nível de experiência afetou os ajustes proximais do alcance, sendo o maior grau de experiência responsável pela não influência da gravidade nos alcances realizados em diferentes posições corporais.

Em relação aos ajustes distais, observa-se predomínio de mãos semi-abertas, exceto para lactentes mais-habilidosos posicionados em reclinado, após prática espontânea. Com isso, nossa segunda hipótese, que lactentes menos-habilidosos apresentariam maior frequência de alcances com mãos fechadas, não foi confirmada. O resultado encontrado no presente estudo contraria parcialmente os achados de Rocha et al. (2006a), que verificaram maior frequência de mãos semi-aberta nos alcances de lactentes de 4 a 6 meses à objetos de diferentes tamanhos e texturas. Esses lactentes estavam posicionados em uma cadeira com uma inclinação de 50°, semelhante à utilizada no presente estudo (45°). Uma interessante observação que pode ajudar-nos a entender esse resultado é o fato dos lactentes mais-habilidosos não terem realizado nenhum alcance com as mãos fechadas após prática espontânea, em todas as posições avaliadas (Figura 13). O mesmo ocorreu com lactentes menos-habilidosos somente na posição reclinada. Esse pode ser um indício de que, após a prática do alcance, a posição reclinada favoreceu os ajustes distais do alcance e que estes ajustes evoluem das mãos semi-aberta para aberta. No entanto, nossos resultados não permitem a confirmação dessa suposição, sendo necessários mais estudos que avaliem a

evolução dos ajustes proximais no alcance em diferentes posições corporais, por um período maior.

Quanto ao posicionamento das mãos no início do alcance, somente os lactentes menos-habilidosos utilizaram a estratégia de aproximar as mãos ao tronco. Entretanto, o resultado mais expressivo foi a maior frequência de mãos distantes do tronco na posição supina para lactentes mais-habilidosos, após prática espontânea. Esse dado contraria os achados de Savelsbergh e Van der Kamp (1994), os quais encontraram predomínio de alcances iniciados com as mãos próximas ao corpo, especialmente nos lactentes mais velhos (20 a 27 semanas de vida). Além disso, tal resultado suporta a suposição de que, após prática, a posição supina deixou de ser uma restrição a qual exigisse do lactente o uso de estratégias para vencer o maior torque muscular necessário no início do movimento. Tal aprimoramento no desempenho do lactente deve-se ao desenvolvimento da acuidade visual, controle postural, cognição e coordenação olho-mão (Fallang et al., 2000; Rocha et al., 2006a; Van Hof et al., 2004, 2006), além da aprendizagem do movimento (Adolph, 1997; Lobo et al., 2004; Carvalho et al., 2007b). Esses fatores são também considerados determinantes no aumento da frequência de alcances com preensão, observado para lactentes mais-habilidosos. Esse resultado confirma novamente que o nível de experiência interfere no desempenho de lactentes no alcance de objetos. Embora as diferentes posições não afetem consideravelmente os ajustes proximais e distais do alcance de lactentes mais-habilidosos, essa restrição extrínseca ainda influencia a preensão do objeto por esse grupo de lactentes. Dessa forma, a posição sentada, além de facilitar o alcance em lactentes menos-habilidosos, ainda favorece o alcance com preensão em lactentes após aprendizagem e prática do alcance.

Baseados nestes resultados, concluímos que o nível de experiência interferiu no alcance manual de lactentes jovens, de mesma faixa etária. Além disso, as diferentes posições corporais também alteraram os ajustes proximais e distais do alcance, tanto na aquisição da habilidade como após um mês de prática espontânea. Essas são informações importantes que devem ser levadas em consideração na estimulação fisioterapêutica precoce. Por exemplo, determinadas manipulações, como o posicionamento do lactente na posição sentada durante o alcance, podem favorecer a realização de alcances unimanuais e promover a descarga de peso sobre o outro membro superior, estimulando também o controle postural. Além disso, essa posição pode favorecer o alcance com preensão em lactentes experientes.

Portanto, tanto o nível de experiência no alcance quanto a orientação corporal do lactente devem ser levados em consideração durante avaliação e tratamento fisioterapêutico de lactentes jovens.



**Considerações Finais**

O presente trabalho abordou a influência de restrições intrínsecas e extrínsecas no alcance de lactentes jovens. Baseados nos resultados dos três estudos apresentados, algumas considerações puderam ser levantadas.

Em relação ao estudo 1, verificamos que as orientações corporais afetam os alcances de lactentes jovens apenas na idade de 4 meses. Para vencer a restrição imposta pelo vetor força da gravidade na posição supina, os lactentes aos 4 meses usaram como estratégia alterar os parâmetros temporais do alcance, por meio do aumento na duração e tempo de desaceleração. Além disso, observamos variabilidade tanto nos resultados referentes à frequência de alcances como nos parâmetros cinemáticos do movimento. O reconhecimento de que a variabilidade é um aspecto essencial dos sistemas biológicos humanos exige mudança no foco de interesse das pesquisas, que tradicionalmente era voltado à variabilidade decorrente da idade (Rosengren et al., 2003, Newell & Slifkin, 1998). Sendo assim, o estudo 2 foi proposto, considerando o nível de habilidade no alcance ao invés da idade. Este estudo mostrou que as orientações corporais afetam o alcance dos lactentes considerados menos habilidosos. Além de utilizarem a estratégia de alterar os parâmetros temporais do alcance, observamos que esses lactentes menos habilidosos também alteraram os parâmetros espaço-temporais do movimento, tanto em relação à posição supina como em comparação aos lactentes mais habilidosos. Para complementar os resultados obtidos no estudo 2, foi proposto o estudo 3. Neste estudo, verificamos que nível de habilidade e o tempo de experiência no alcance afetam os ajustes proximais e distais, sendo os resultados mais expressivos a influência das orientações corporais na frequência de alcances uni e bimanuais em lactentes menos habilidosos e dos alcances com preensão na posição sentada para os lactentes mais habilidosos.

Baseados na Abordagem Ecológica e nos resultados obtidos nos três estudos, foram levantados alguns aspectos teóricos relacionados ao menor desempenho na posição supina de lactentes aos 4 meses e lactentes menos-habilidosos. O primeiro aspecto é em relação ao acoplamento percepção-ação. Será que esses lactentes perceberam que o brinquedo estava em um espaço alcançável e, na tentativa de realizar o movimento, o alcance não pode ser realizado ou apresentou-se menos coordenado devido à falta de controle sobre a motricidade dos membros superiores? Ou será que essa informação sobre a posição do brinquedo não foi percebida pelo lactente e, independente disso, este tentou realizar o alcance? Infelizmente, o presente estudo não permite levantar suposições em relação a esse aspecto uma vez que, pela metodologia empregada, pudemos verificar apenas a resposta motora e não a informação que foi percebida pelo lactente. Yonas e Hartman (1993) sugerem que, aos 4 meses, os lactentes

---

ainda não são capazes de combinar as informações sobre a distância do objeto, comprimento do braço e a distância que eles podem inclinar o tronco para frente. Baseados no trabalho de Yonas e Hartman (1993), podemos considerar que, além das limitações biomecânicas relacionadas à posição supina, é possível que o menor desempenho nessa posição ocorra também por limitações no acoplamento percepção-ação.

O segundo aspecto teórico refere-se ao *affordance*. Os objetos utilizados foram os mesmos para as três posições corporais. As condições ambientais e de saúde do lactente também eram as mesmas. A força da gravidade, como sabemos, é constante. A única alteração resultou da mudança na relação entre o torque gravitacional e o torque muscular, a qual foi manipulada por meio das diferentes orientações corporais. Isso justifica considerarmos que o *affordance* entre as posições corporais é diferente? Se retomarmos o conceito *affordance* (Gibson, 1979), definido como o que o ambiente oferece ou promove ao animal, seja bom ou ruim, devemos considerar que o *affordance* entre as posições era o mesmo pois o ambiente não mudou. Mas então, o que mudou entre as posições supina, reclinada e sentada? Uma sugestão é dada pelo próprio Gibson (1979), o qual descreveu que mudanças na orientação corporal ou mesmo a simples rotação da cabeça alteram o campo visual e, conseqüentemente, a informação que é percebida pelo indivíduo. Por isso, ao alterarmos a orientação corporal do lactente, houve também mudanças nas informações contidas dentro do campo visual. Conseqüentemente, a informação captada pelo lactente sobre o ambiente, principalmente a relação entre a posição do brinquedo e a sala, foram diferentes. Outro ponto interessante dentro desse contexto é que a informação para a percepção do próprio corpo também se alterou entre as posições corporais. Como exemplo, ao passarmos o lactente de sentado para supino, a cabeça deixou de ser sustentada basicamente pelo pescoço e tronco e passou a ser suportada principalmente pela cadeira. Com base nessas suposições, sugerimos que as diferentes posições corporais alteraram as informações que eram percebidas pelo lactente.

Outro aspecto teórico que não poderia deixar de ser discutido neste trabalho é a relação entre desenvolvimento e aprendizagem. Segundo Pick (2003), desenvolvimento implica na aquisição e refinamento de habilidades os quais ocorrem naturalmente desde o nascimento, enquanto na aprendizagem, tanto a aquisição como o refinamento ocorrem através da experiência. De acordo com Clark e Whitall (1989), as ações do indivíduo são, freqüentemente, dependentes de ambos, porque a aprendizagem somente acontece se o sistema estiver pronto para aprender e o grau de maturação é influenciado pela quantidade e tipo de aprendizagem obtida através de experiências específicas. Os resultados do presente

---

estudo mostraram que após aproximadamente um mês de prática espontânea, os lactentes apresentaram um alcance mais refinado, quando comparado aos movimentos realizados no mês de aquisição da habilidade. A mesma afirmação pode ser feita aos lactentes de 5 e 6 meses em comparação aos 4 meses. Dessa forma, sugerimos que o refinamento do alcance observado nos lactentes avaliados nos três estudos deve-se ao processo de aprendizagem ocorrido ao longo do desenvolvimento.

Portanto, concluímos que aquisição e desenvolvimento da habilidade de alcance dependem da relação organismo-ambiente. Além disso, constatamos que as orientações corporais foram capazes de alterar a dinâmica do movimento, de acordo com as capacidades do lactente. A posição sentada favoreceu o alcance de lactentes com pouca habilidade no período de aquisição do movimento. Apesar de o alcance manual ter sido extensivamente estudado sob diferentes condições e abordagens teóricas, o presente estudo vem mostrar que esta ainda é uma habilidade cujo estudo permitirá o aumento da compreensão sobre o desenvolvimento motor de lactentes. Embora muito se saiba sobre desenvolvimento motor, há ainda muito a ser compreendido.





**Implicações para a fisioterapia**

---

O presente estudo fornece informações relevantes no âmbito da Fisioterapia voltada à neuropediatria. Inicialmente, este estudo propicia maior compreensão sobre o desenvolvimento de uma habilidade motora importante, que é o comportamento de alcance. Ressaltamos a constatação de que lactentes típicos apresentam diferentes cursos de desenvolvimento da habilidade de alcance, podendo apresentar movimentos menos ou mais controlados, por influência de fatores intrínsecos, como a dinâmica intrínseca, e extrínsecos, como as diferentes orientações corporais. Além disso, observamos que o tempo de prática do alcance também é um fator importante que influencia no grau de controle dos membros superiores durante a execução desta habilidade.

Em relação às orientações corporais, a posição sentada favoreceu o alcance de lactentes no período de aquisição do movimento, especialmente naqueles lactentes considerados menos habilidosos no alcance. Está é uma informação fundamental no contexto da reabilitação e estimulação precoce, pois acreditamos que a posição sentada poderá ser utilizada como recurso terapêutico para estimular o alcance de lactentes com alteração no desenvolvimento.

Portanto, o presente estudo ressalta a necessidade de o fisioterapeuta considerar o nível de habilidade no alcance, o tempo de prática e a posição corporal do lactente para que o mesmo possa avaliar e estimular o desenvolvimento do alcance manual de maneira adequada.



## Referências

- 
- Adolph, K. E. (1997). Learning in development of infant locomotion. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 62 (3, serial no. 251).
- Adolph, K. E. (2000). Specificity of learning: why infants fall over a veritable cliff. *Psychological Science*, 11 (4), 290-295.
- Barela, J. A. (2001). Ciclo percepção-ação no desenvolvimento motor. In: L. A. Teixeira (Ed.), *Avanços em comportamento motor* (pp. 40-61). São Paulo: Movimento.
- Barros, R. M. L., Brenzikofer, R., Leite, N. J., & Figueroa, P. J. (1999). Development and evaluation of a system for three-dimensional kinematic analysis of human movements. [Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos]. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, 15, 79-86.
- Bernstein, N. (1967). *The coordination and regulation of movement*. London: Pergamon Press.
- Berthier, N. E., Clifton, R. K., MacCall, D. D., Robin, D. J. (1999). Proximodistal structure of early reaching in human infants. *Experimental Brain Research*, 127, 259-269.
- Bushnell, E. W. (1985). The decline of visually guided reaching during infancy. *Infant Behavior & Development*, 8, 139-155.
- Carvalho, R. P., Tudella, E., & Barros, R. M. L. (2005). Utilization of the Dvideow system in kinematic analysis of infants' reaching movements. [Utilização do sistema Dvideow na análise cinemática do alcance manual de lactentes]. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 9, 41-47.
- Carvalho, R. P., Tudella, E., & Savelsbergh, G. J. P. (2007a). Spatio-temporal parameters in infant's reaching movements are influenced by body orientation, *Infant Behavior & Development*, 30, 26-35.
- Carvalho, R. P., Tudella E., Caljouw, S. R., Savelsbergh, G. J. P. (2007b). Early control of reaching: effects of experience and body orientation. *Infant Behavior and Development*. (in press)
- Clark, J. E., & Whitall, J. (1989). What is motor development? The lessons of history. *Quest*, 41, 183-202.
- Coelho, Z. A. (2004). Impact of environment information on development of reaching in children born full term at the ages 4 to 6 months. O impacto da informação ambiental no desenvolvimento do alcance em crianças nascidas a termo na faixa etária de 4 a 6 meses. (dissertação de mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais.
- Corbetta, D. & Thelen, E. (1996). The developmental origins of bimanual coordination: a dynamic perspective. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 502-522.

- 
- Corbetta, D., Thelen, E., & Johnson, K. (2000). Motor constraints on the development of perception-action matching in infant reaching. *Infant Behavior & Development*, 23, 351–374.
- Fagard, J. (2000) Linked proximal and distal changes in the reaching behavior of 5- to 12-month-old human infants grasping objects of different sizes. *Infant Behavior & Development*. 23: 317-29.
- Fallang, B., Saugstad, O. D., & Hadders-Algra, M. (2000). Goal directed reaching and postural control in supine position in healthy infants. *Behavioural Brain Research*, 115, 9–18.
- Galloway, J. C., & Thelen, E. (2004). Feet first: object exploration in young infants. *Infant Behavior & Development*, 27, 107-112.
- Gibson, E. J. (1988). Exploratory Behavior in the development of perceiving, acting and the acquiring of knowledge. *Annual Review of Psychology*, 39, 1-41.
- Gibson, E. J. (1969). *Principles of perceptual learning and development*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Gibson, J. J. (1979) *The ecological approach to visual perception*. Boston, MA Houghton-Mifflin.
- Gibson, E. J., Pick, A. D. (2000). *An ecological approach to perceptual learning and development*. New York: Oxford University Press.
- Jouen, J. & Molina, M. (2005) Exploration of the newborn's activity: a window onto early cognitive processes. *Infant Behavior & Development*, 28, 227-239.
- Kawai, M., Savelsbergh, G. J. P., Wimmers, R. H. (1999). Newborns spontaneous arm movements are influenced by the environment. *Early Human Development*, 54, 15-27.
- Konczak, J., Borutta, M., & Dichgans, J. (1997). The development of goal-directed reaching in infants. In: Learning to produce task-adequate patterns of joint torque. *Experimental Brain Research*, 113, 465-474.
- Konczak, J., & Dichgans, J. (1997). The development toward stereotypic arm kinematics during reaching in the first 3 years of life. *Experimental Brains Research*, 117, 346-354.
- Lobo, M. A., Galloway, J. C., Savelsbergh, J. P. (2004). General and task-related experiences affect early object interaction. *Child Development*, 75, 1268-1281.
- Mathew, A., & Cook, M. (1991). The control of reaching movements by young infants. *Child Development*, 61, 1238–1257.
- Newell, K. M. (1986). Constrains on the development of coordination. In M. Wade & H. T. A. Whitng (Eds.), *Motor development in children: Aspects of coordination and control* (pp. 351–360). Boston: Martin Jhoff.

- 
- Newell, K. M., Slinfkin, A. B. (1998). The nature of movement variability. In: J. P. Piek. *Motor behavior and human skill* (pp.143-160). United State of America: Human Kinetic Publishers.
- Out, L., Savelsbergh, G. J. P., Van Soest, A. J., & Hopkins, B. (1997). Influence of mechanical factors on movements units in infant reaching. *Human Movement Science, 16*, 733–748.
- Out, L., Van Soest, A. J., Savelsbergh, G. J. P., & Hopkins, B. (1998). The effect of posture on early reaching movements. *Journal of Motor Behavior, 30*, 260-272.
- Piek, J. P. (2003). The role of variability in early motor development. *Infant Behavior & Development, 25*, 452-465.
- Pryde, K. M., Roy, E. A., & Campbell, K. (1998). Prehension in children and adults: The effects of object size. *Human Movement Science, 17*(6), 743–754.
- Reed, E.S. (1982). An outline of a theory of action systems. *Journal of Motor Behavior, 14*, 98-134,
- Rocha, N. A. C. F., Silva, F. P. S., & Tudella, E. (2006a). The impact of object size and rigidity on infant reaching. *Infant Behavior & Development, 29*, 251–261.
- Rocha, N. A. C. F., Silva, F. P. S., & Tudella, E. (2006b). Development of reaching in healthy infants: linearity? [Alcance manual em lactentes saudáveis: desenvolvimento linear?] *Revista Fisioterapia e Pesquisa, 13*, 30-37.
- Rochat, P. (1992). Self-sitting and reaching in 5–8 month-old infants: Impact of posture and its development on early eye-hand coordination. *Journal of Motor Behavior, 24*, 210–220.
- Rochat, P., & Goubet, N. (1995). Development of sitting and reaching in 5 to 6-month-old-infants. *Infant Behavior & Development, 18*, 53–68.
- Rosengren, K., Savelsbergh, G. J. P., & Van der Kamp, J. (2003). Development and learning: A TASC-based perspective of the acquisition of perceptual-motor behaviors. *Infant Behavior & Development, 26*, 473–494.
- Savelsbergh, G. J. P., Bennett, S. J., Angelakopoulos G. T., & Davids K. (2005). Perceptual-motor organization of children’s catching behaviour under different postural constraints. *Neuroscience Letters, 373*, 153-158.
- Savelsbergh, G. J. P., & Van der Kamp, J. (1993). The coordination of infant’s reaching, grasping, catching and posture: A natural physical approach. In G. J. P. Savelsbergh (Ed.), *The development of coordination in infancy* (pp.289-317). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Savelsbergh, G. J. P., & Van der Kamp, J. (1994). The effect of body orientation to gravity on early infant reaching. *Journal of Experimental Child Psychology, 58*, 510–528.

- 
- Streri, A., Féron, J. (2005) The development of haptic abilities in very young infants: from perception to cognition. *Infant Behavior & Development*, 28, 290-304.
- Thelen, E., Corbetta, D., & Spencer, J. P. (1996). Development of reaching during the first year: Role of movement speed. *Human Perception and Performance*, 22, 1059–1076.
- Thelen, E., Corbetta, K. K., Spencer, J. P., Schneider, K., & Zernicke, R. F. (1993). The transition to reaching: Mapping intention and intrinsic dynamics. *Child Development*, 64, 1058–1098.
- Turvey, M. T. & Fitzpatrick, P. (1993). Commentary: Development of Perception-action Systems and General Principles of Pattern Formation. *Child Development*, 64, 1175-1190.
- Van der Fits, I. B. M., & Hadders-Algra, M. (1998). The development of postural response patterns during reaching in healthy infants. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 22, 521–526.
- Van der Fits, I. B. M., Klip, A. W. J., Van Eykern, L. A., & Hadders-Algra, M. (1999). Postural adjustments during spontaneous and goal-directed arm movements in the first half year of life. *Behavioural Brain Research*, 106, 75-90.
- Van der Kamp, J, Oudejans, R.D.D., & Savelsbergh, G.J.P. (2003). The development and learning of the visual control of movement: An ecological perspective *Infant Behavior & Development*, 26, 495-515.
- Van Hof, P. (2005). *Perception-action couplings in early infancy*. (Dissertação de doutorado, Vrije Universiteit, Amsterdam).
- Van Hof, P., Van der Kamp, J., Caljouw, S. R., & Savelsbergh, G. J. P. (2005). The confluence of intrinsic and extrinsic constraints on 3- to 9-month-old infants' catching behavior. *Infant Behavior & Development*, 28, 179–193.
- Van Hof, P., Van der Kamp, J., & Savelsbergh, G. J. P. (2004). The information-based control of interceptive timing: A developmental perspective. In H. Hecht & G. J. P. Savelsbergh (Eds.), *Time-to-contact* (pp. 141–173). North-Holland: Elsevier.
- Van Hof, P., Van der Kamp, J., & Savelsbergh, G. J. P. (2006). Three to eight months infants catching under monocular and binocular vision. *Human Movement Science*, 25, 18–36.
- Von Hofsten, C. (1979). Development of visually directed reaching: the approach phase. *Journal of Human Movement Studies*, 5, 160-178.
- Von Hofsten, C. (1982). Eye-hand coordination in the newborn. *Developmental Psychology*, 18, 450–461.
- Von Hofsten, C. (1984). Developmental changes in the organization of prereaching movements. *Developmental Psychology*, 20, 378-386.

- 
- Von Hofsten, C. (1991). Structuring of early reaching movements: A longitudinal study. *Journal of Motor Behavior*, 23, 280–292.
- Von Hofsten, C. (2004). An action perspective on motor development. *Trends in cognitive sciences*, 8, 266-272.
- Virji-Babul, N., Cooke, J. D., & Brown, S. H. (1994). Effects of gravitational forces on single-joint arm movements in humans. *Experimental Brain Research*, 99, 338–346.
- Wimmers, R. H., Savelsbergh, G. J. P., Beek, P. J., & Hopkins, B. (1998). Some evidence for a phase transition in the development of prehension. *Developmental Psychobiology*, 32, 235–248.
- Yonas, A., Hartman, B. (1993). Perceiving the affordance of contact in four- and five-month-old infants. *Child Development*, 64, 298-308.
- Zanone, P. G., Kelso, J. A. S., & J. J. Jeka. (1993). Concepts and methods for a dynamical approach to behavioral coordination and change. In: G. J. P. Savelsbergh (Ed.), *The development of coordination in infancy* (pp 89-135). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.



**Apêndices**



ELSEVIER

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Infant Behavior &amp; Development xxx (2006) xxx–xxx

**Infant  
Behavior &  
Development**

## Spatio-temporal parameters in infant's reaching movements are influenced by body orientation

R.P. Carvalho<sup>a,\*</sup>, E. Tudella<sup>a</sup>, G.J.P. Savelsbergh<sup>b,c</sup>

<sup>a</sup> *Department of Physiotherapy, Neuropediatric Section, University Federal of São Carlos, Rod. Washington Luis km 235, 13565-905, São Carlos-SP, Brazil*

<sup>b</sup> *Institute for Fundamental and Clinical Human Movement Sciences, Faculty of Human Movement Sciences, Vrije University of Amsterdam, Van der Boechorststraat 9, 1081 BT Amsterdam, The Netherlands*

<sup>c</sup> *Institute for Biophysical and Clinical Research into Human Movement, Manchester Metropolitan University, Hassall Road, Alsager ST7 2HL, UK*

Received 30 September 2005; received in revised form 25 July 2006; accepted 25 July 2006

### Abstract

Many studies have demonstrated that the seated position is more effective in promoting reaching movements when compared with supine. The aim of this longitudinal study was to verify the effect of seated and supine positions on spatio-temporal parameters of reaching in 4–6-month-old infants. Four infants were observed during reaching trials in both positions. A total of 235 reaches were analyzed by using the 3D movement reconstruction. Our results showed that frequency of reaching and straightness index increased over age. Significant differences between the positions were observed at 4 months, when the frequency increased and the duration and deceleration time decreased in the seated position. There were no significant differences at 5 and 6 months. These findings suggest that young infants are able to change kinematical parameters of reaching to adapt themselves to intrinsic and extrinsic constraints (i.e. age and position).

© 2006 Published by Elsevier Inc.

**Keywords:** Reaching; Kinematics; Body orientation; Supine; Seated

### 1. Introduction

In the last 20 years, researchers within the area of motor development have with increased frequency focused on the development process in an attempt to understand how infants adapt themselves to intrinsic and extrinsic constraints with regard to age (Clark & Whittall, 1989; Rosengen, Savelsbergh, & Van der Kamp, 2003; Van der Kamp, Oudejans, & Savelsbergh, 2003).

The concept of constraint was formulated by Newell (1986), who distinguished three categories of constraints which interactively determine the development of coordination, namely organismic, environmental and task constraints. Newell's formulation was supported by studies that attempted to understand the development of reaching and took into account approaches relying both on intrinsic constraints, like improvements in postural control in seated (Rochat & Goubet, 1995) and supine positions (Fallang, Saugstad, & Hadders-Algra, 2000); as well as extrinsic constraints, such as studies examining the use of objects with different sizes and rigidity (Rocha, Silva, & Tudella, 2006), objects

\* Correspondence to: Alameda das Papulas, 125, Apto 24, Cidade Jardim, CEP 13566-545, São Carlos, Brazil. Tel.: +55 16 33518407.  
E-mail addresses: [rcarvalho@iris.ufscar.br](mailto:rcarvalho@iris.ufscar.br), [raquel\\_pc@yahoo.com.br](mailto:raquel_pc@yahoo.com.br) (R.P. Carvalho).

in motion (Van Hof, Van der Kamp, Caljouw, & Savelsbergh, 2005) and different body orientations (Out, Van Soest, Savelsbergh, & Hopkins, 1998; Rochat, 1992; Savelsbergh & Van der Kamp, 1994).

Research on the influence of different body orientations during the reaching process has demonstrated that the seated position can increase the frequency and duration of successful reaching movements. Indeed, young infants (12–19 weeks), when placed seated showed similar frequency and duration of reaching to those of older infants (20–27 weeks) who were placed in either supine, reclined or seated position (Savelsbergh & Van der Kamp, 1994).

The results of this study raise important questions. We wonder if this similarity between younger and older infants can also be found for kinematic parameters (spatio-temporal variables) of reaching. In other words, can seated position improve reaching movements in younger infants in relation to kinematic parameters?

Accordingly, the purpose of the current study was therefore to verify whether and how different body orientations – related to the gravity vector – affect spatio-temporal variables of reaching kinematics in 4–6-month-old infants over age.

Two hypotheses are tested in this study. First, we predict that kinematic variables of reaching change between 4 and 6 months. We believe that 6-month-old infants are more skillful than 4-month-olds given their development of visual acuity, visual attention, cognitive processes and postural control (Fallang et al., 2000; Rochat & Goubet, 1995; Savelsbergh & Van der Kamp, 1994; Van Hof, Van der Kamp, & Savelsbergh, 2004, 2006). Thus, we expect that older infants, independent of their body orientation, have better reaching performances, i.e., straighter trajectory, shorter duration and higher velocity.

Our second hypothesis is that the seated position allows better reaching independent of age—not only regarding frequency and duration but also in terms of spatio-temporal parameters. Insights from biomechanics reveal that supine position demands higher muscular torque at the beginning of the reach, as the weight force vector position is farther from the longitudinal shoulder axis. By comparison, the seated position demands lower muscular torque at the beginning of the reach because the weight force vector position is closer to the longitudinal shoulder axis (Savelsbergh & Van der Kamp, 1994). In both cases, the weight force vector position must be considered when the movement begins with 0° shoulder and elbow flexions. Given the infants' inability to properly control their trunks, they are more affected by different body orientations, that is why the higher muscular torque demanded at the beginning of the reach would have an effect on the kinematics of movement. Moreover, in the supine position, the mechanics of the arm could be compared to an inverted pendulum, in which the center of mass is located above the rotational center, on the shoulder (Out et al., 1998). This configuration would lead to arm instability during reaching in the supine position and would compromise the quality of the reach.

Consequently, we suggest that young infants, when seated, experience less difficulty at the beginning of the movement due to the lower muscular torque demanded and therefore they show a straighter reaching trajectory. In spite of the fact that due to shoulder flexion the muscular torque demanded gets higher from the middle of the reaching trajectory to its end, the infant can touch the object by means of inertia (Out et al., 1998). When infants use these biomechanical advantages, the movement would be performed with straighter trajectory, shorter duration and higher velocity. In the supine position, the reaching trajectory would be less straight because of the instability caused by the mechanics of the arm and the higher muscular torque needed to begin the movement. Thus, the movement would be performed with greater trajectory despite the decrease of muscular torque during shoulder flexion. Due to the instability, the infant must do more adjustments to reach the object and the movement would be performed with longer trajectory, longer duration and lower velocity.

The current longitudinal study extends the Savelsbergh and Van der Kamp's (1994) cross-sectional study and provides further information about the effect of intrinsic and extrinsic factors on reaching. In addition to this, it effectively demonstrates the complexity of the developmental process of reaching skills among infants aged from 4 to 6 months.

## 2. Methods

### 2.1. Participants

Four healthy infants participated in this study: one boy and three girls, all born at full term (gestational age  $M = 40.33$  weeks;  $S.D. = 0.58$  weeks) with an Apgar score of greater than or equal to 8 at the first and fifth minutes. They were evaluated longitudinally, at the ages of 4 months ( $M = 4$  months;  $S.D. = 3$  days), 5 months ( $M = 5$  months and 1 day;

S.D. = 1 day) and 6 months ( $M = 6$  months; S.D. = 2 days), with a tolerance of plus or minus 7 days allowed for each monthly evaluation. The current study was approved by the Research Ethics Committee (protocol no. 092/2002) of University Federal of São Carlos (UFSCar), Brazil. Informed legal consent was obtained from the participants' parents prior to the study.

## 2.2. Materials and procedures

"Pearl" type spherical markers were affixed to the infant's wrist (dorsal region of the carpus) using double-sided hypoallergenic tape (Out et al., 1998). Next, the infant was positioned in a "baby chair" at an inclination of  $70^\circ$  to the horizontal (Carvalho, Tudella, & Barros, 2005; Von Hofsten, 1982, 1984). The chair was set at the center of a calibrated volume ( $0.480\text{ m} \times 0.320\text{ m} \times 2.300\text{ m}$ ). A 20-s interval was allowed for the infant to get used to the body orientation. During this time no stimulus was presented. Three different toys were used as objects to reach for. All of them were small and of varied shapes. The first toy was offered at a distance corresponding to the length between the infant's shoulder and wrist (Corbetta, Thelen, & Johnson, 2000; Van der Fits & Hadders-Algra, 1998). After the reach, the toy was taken away carefully and presented again for a 2-min period. The same procedure was repeated with the second toy. If the infant showed no interest in any of the toys, it was replaced by the third toy. This evaluation was repeated in the supine position ( $0^\circ$ ). The sequence of the positions was chosen at pseudorandom. The total time of the experiment was 8 min and 40 s. No strict hand position was imposed to avoid interfering with the movement biomechanics.

The whole experimental phase was filmed using three digital cameras (with a frequency of 60 Hz), one positioned above and behind the chair, the other two in front of and diagonally to the chair, one on the right side and the other on the left side, such that all the markers were visible throughout the reaching movements (Carvalho et al., 2005).

The images from the three cameras were picked up by an image capture board. The kinematic analysis of the reaching images was carried out, frame by frame, via the Dvideow system (Barros, Brenzikofer, Leite, & Figueroa 1999). The images from the cameras above and on the right side of the chair were used to analyze the movement of the infants' right arm; while the images from the cameras above and on the left side of the chair were used to analyze their left arm.

The Dvideow system output  $X$ ,  $Y$  and  $Z$  coordinates from the markers fixed to both wrists for each frame of the movement. The Matlab 6.0 program was used to filter these outputs. A fourth-order Butterworth filter with a cutoff frequency of 6 Hz was used. Duration of reaching, straightness index, deceleration time and mean velocity were calculated by means of routines.

## 2.3. Description of dependent variables

Several variables that indicate the spatial parameters (e.g. the straightness index), temporal parameters (e.g. duration, deceleration time) and spatio-temporal parameters (e.g. the mean velocity) of the reach were analyzed.

We considered a "reach" only when the arm movements resulted in a touch of the toy with the infant's hand, at any time of its trajectory. The beginning of a reach was defined as the first frame when the infant's arm began uninterrupted approach toward the object. The end of a reach was defined as the first frame when the infant's hand touched the object (Corbetta & Thelen, 1996; Fallang et al., 2000; Rocha et al., 2006; Thelen, Corbetta, & Spencer, 1996).

The frequency of reaching was calculated as the number of reaching movements considered valid in each body orientation over a period of 4 min.

The duration of reaching was calculated as the difference in time between the start of the arm movement and the touch of the toy.

The straightness index indicated how many times the infant reached for the object through a trajectory greater than the minimal possible distance traveled by the hand. It was calculated as the ratio between the minimal distance that could have been traveled (distance between the initial position of the hand and the object) and the actual distance traveled by the hand. A straightness index of 1 indicates that the infant performed a reaching through the shortest possible trajectory (Coelho, 2004; Thelen et al., 1996).

The deceleration time indicates the time necessary for the infant to decelerate the arm movement so that his hand touches the toy. This period of the duration was measured from the time of appearance of the peak of velocity to the end of the reach (Pryde, Roy, & Campbell, 1998). A smaller deceleration time indicates that the infant needs to adjust less to the trajectory.

The mean velocity was obtained by calculating the ratio between the norm of the distance traveled and the duration of reaching (Mathew & Cook, 1991), from *X*, *Y* and *Z* coordinates of the wrist marker.

#### 2.4. Data analysis

Chi-Square was applied to verify possible differences in the frequency of reach among ages and body orientations. The Kruskal–Wallis test was used to verify possible differences among ages. Finally, the Mann–Whitney test was applied to examine possible differences in dependent variables between the supine and seated positions among infants of the same age. For all the analyses, the significance level used was  $p \leq 0.017$ , which was corrected according to the number of comparisons.

### 3. Results

The four infants performed 111 reaching movements in supine position and 157 in seated position, for a total of 268 movements (Table 1). Out of this, 33 were excluded for experimental errors or because of crying. Our kinematical analysis then involves 235 reaching movements.

Statistical tests were applied in order to exclude the possibility that the observed differences arose from irrelevant differences among the toys. Taking into consideration the different toys, the Kruskal–Wallis showed no differences in terms of duration of reaching ( $H(2) = 0.899$ ;  $p = 0.638$ ), straightness index ( $H(2) = 0.528$ ;  $p = 0.768$ ), deceleration time ( $H(2) = 3.848$ ;  $p = 0.146$ ) and mean velocity ( $H(2) = 0.241$ ;  $p = 0.886$ ). Thus, we are confident that our findings resulted from the infants' age and body orientations and are not affected by the characteristics of the toys used to stimulate the reach.

#### 3.1. The effect of age on reaching variables

As to the frequency of reaching, there was a significant difference among ages ( $\chi^2(2) = 12.209$ ;  $p = 0.002$ ). The higher frequency was registered at 6 months in seated position (Table 1). Two infants at 6 months had a low frequency of reaching in the supine position (two and four reaching movements, respectively) as they did not tolerate this body orientation.

Fig. 1A–D shows spatio-temporal variables of reaching for each month. There was a slight increase of duration of reaching with age. However, the Kruskal–Wallis Test indicated no significant differences in relation to the age ( $H(2) = 2.855$ ;  $p = 0.240$ ). Straightness index was lower at the fourth month when compared with the other months ( $H(2) = 17.492$ ;  $p < 0.01$ ). There were no significant differences for deceleration time ( $H(2) = 4.038$ ;  $p = 0.133$ ) and mean velocity ( $H(2) = 4.647$ ;  $p = 0.98$ ) in relation to ages.

#### 3.2. The effect of body orientation on reaching variables

There was a greater frequency of reaching in the seated position than in the supine one (Table 1). The difference among orientation was significant ( $\chi^2(1) = 7.896$ ;  $p = 0.005$ ).

Fig. 2A–D shows spatio-temporal variables of reaching for each orientation at the same age. The duration of reaching was higher at the supine position for 4 and 5 months. However, Mann–Whitney test indicated significant differences in relation to the 4 months ( $U(1) = 179.5$ ;  $p = 0.001$ ) and no significant differences for 5 months ( $U(1) = 935.5$ ;  $p = 0.154$ ).

Table 1  
Frequency of the reaching movements for each age (4-, 5- and 6-month-old), in supine and seated positions

	Supine	Seated	Total
4-month-old	23	41	64
5-month-old	55	55	110
6-month-old	33	61	94
Total	111	157	268

Please cite this article as: R.P. Carvalho et al., Spatio-temporal parameters in infant's reaching movements are influenced by body orientation, *Infant Behavior & Development* (2006), doi:10.1016/j.infbeh.2006.07.006

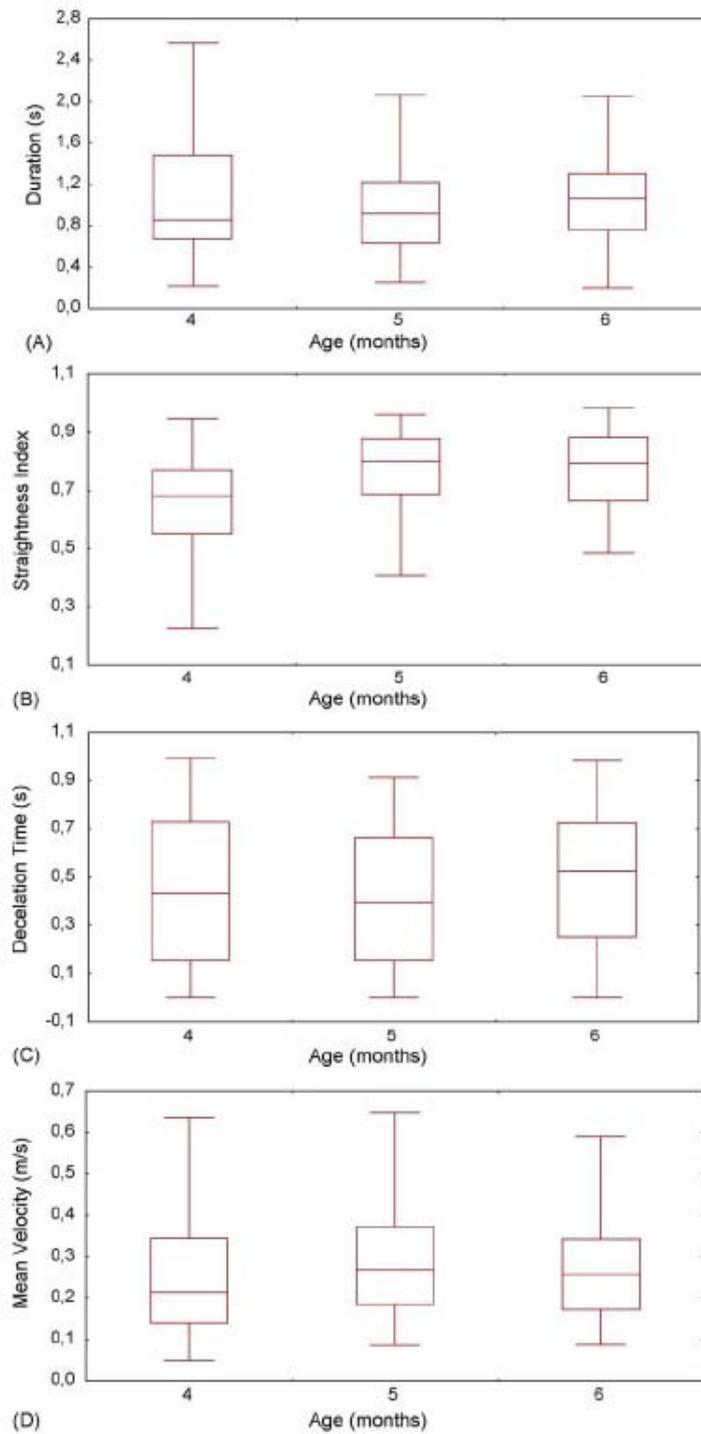


Fig. 1. Median and standard deviation of the duration (A), straightness index (B), deceleration time (C) and mean velocity (D) of reaching for 4-, 5- and 6-month-old infants.

Please cite this article as: R.P. Carvalho et al., Spatio-temporal parameters in infant's reaching movements are influenced by body orientation, *Infant Behavior & Development* (2006), doi:10.1016/j.infbeh.2006.07.006

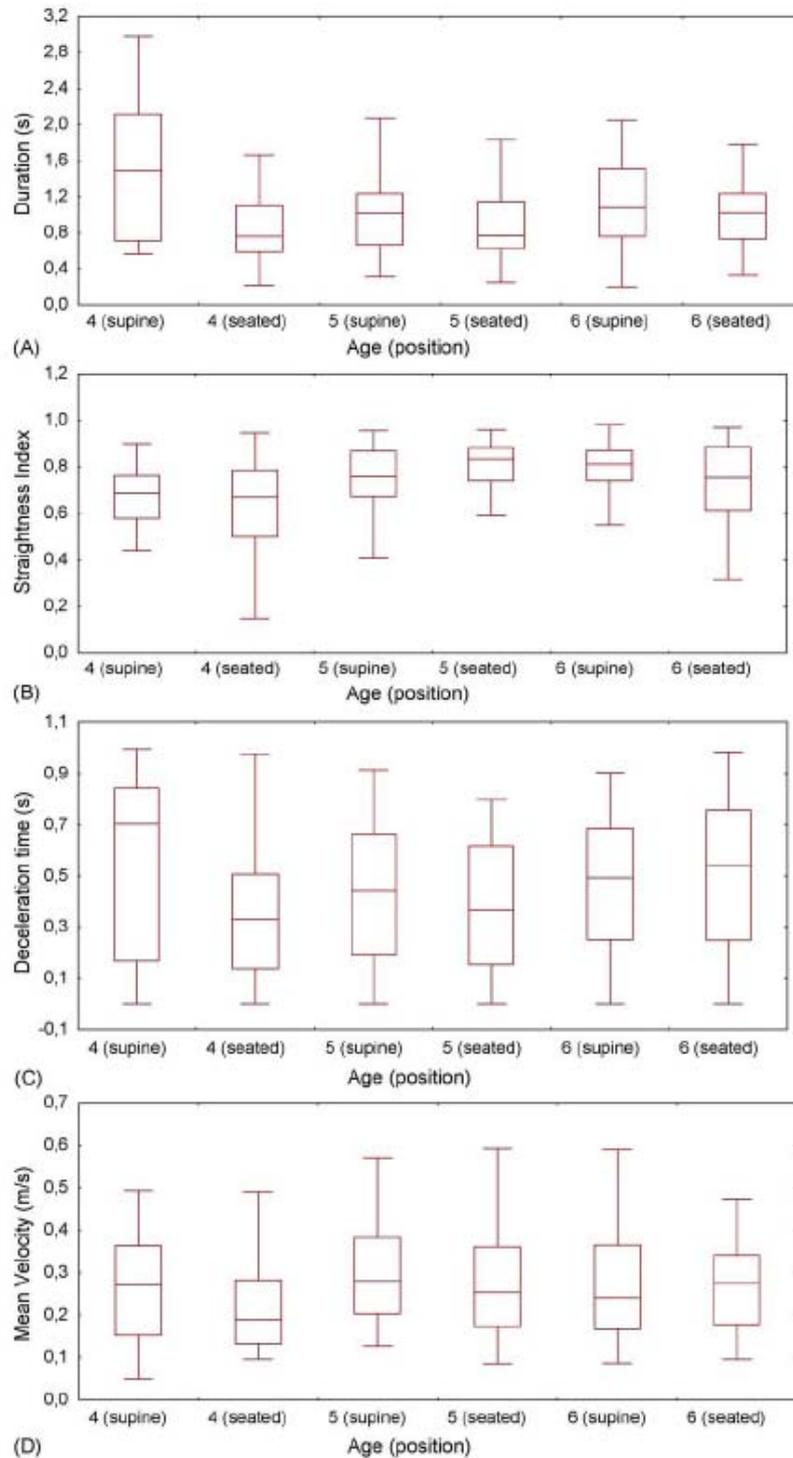


Fig. 2. Median and standard deviation of the duration (A), straightness index (B), deceleration time (C) and mean velocity (D) of reaching for supine and seated positions at 4, 5 and 6 months.

Please cite this article as: R.P. Carvalho et al., Spatio-temporal parameters in infant's reaching movements are influenced by body orientation, *Infant Behavior & Development* (2006), doi:10.1016/j.infbeh.2006.07.006

and 6 months ( $U(1) = 724$ ;  $p = 0.302$ ). Although the straightness index was higher for the seated position at 5 months and lower in the supine position at 6 months, there were no significant differences in this aspect for infants of 4 months ( $U(1) = 348$ ;  $p = 0.733$ ), 5 months ( $U(1) = 862.5$ ;  $p = 0.049$ ) and 6 months ( $U(1) = 751$ ;  $p = 0.432$ ). Deceleration time was longer for the supine position at 4 months ( $U(1) = 214.5$ ;  $p = 0.009$ ), and there were no significant differences for 5 months ( $U(1) = 965.5$ ;  $p = 0.229$ ) or 6 months ( $U(1) = 783.5$ ;  $p = 0.625$ ). There were no significant differences for mean velocity in relation to positions for 4 months ( $U(1) = 288$ ;  $p = 0.172$ ), 5 months ( $U(1) = 995$ ;  $p = 0.326$ ) and 6 months ( $U(1) = 781.5$ ;  $p = 0.612$ ). In summary, there were significant changes in duration and deceleration time, which both were longer in supine position at 4 months.

#### 4. Discussion

The experiment examined the effect of body orientation with respect to gravity on the spatio-temporal parameters of reaching in 4–6 month-old infants. Our results indicated that age and body orientation have an influence on reaching at this stage of infants' development. Thus, we suggest that both intrinsic and extrinsic factors might affect the reaching.

As to our first hypothesis about the changes on the kinematic pattern of reaching throughout the ages in question, our findings demonstrate an increase of frequency of reaching and straightness index. The effect of age on the frequency of reaching have been described (Konczak & Dichgans, 1997; Out et al., 1998; Rocha et al., 2006; Savelsbergh & Van der Kamp, 1994; Thelen et al., 1996) and suggest that the infants improved their abilities to reach for objects with increasing age. Unexpectedly, our research indicated that the frequency of reaching in the supine position at 5 months was higher than at 6 months. Two infants had a frequency of reaching of 2 and 4 at 6 months in the supine position, though the same infants, at 5 months, had reached the object 18 and 12 times, respectively. This result may be due to the fact that, at 6 months, these infants had already a good postural control when seated, and therefore preferred to stay in this position.

The changes in straightness index indicate that infants stabilize their reaching trajectory with increasing age. The lowest straightness index (therefore, that with the longest trajectory) was observed in 4-month-olds. This indicates that the reaching strategy of infants becomes smoother and more controlled movements with age (Von Hofsten, 1991).

According to Newell (1986), the improvement in reaching ability throughout the months results from the interaction between intrinsic and extrinsic constraints. The development of reaching may arise from changes in intrinsic constraints, which follow a developmental adaptive sequence. These changes are characterized, for example, by increase in visual accuracy, cognitive ability, muscular and physical strength, postural control and perception of the surrounding world. According to Gibson (1988), the perception guides human actions, and the actions may be informative. When an infant is between 4 and 6 months old, s/he has carried out many arm movements, many of those are reaches. Consequently, the affordances from the environment changed because infants had new opportunities to acquire information through their actions. Hence, we assert that the better perception an infant has about the affordance of an object, the more accurate his coordinated reaching movement will be.

Turning now to our second hypothesis about the changes on the kinematic pattern of reaching as a function of body orientation, our findings demonstrate that the seated position allows better reaching at 4 months, an observation reflected by a notable increase in the frequency of reaching and a decrease in duration and deceleration time. As soon as the infants learn to reach, they have two central problems to resolve. Those problems are: (1) the arm's tendency to oscillate (Out, Savelsbergh, Van Soest, & Hopkins, 1997) and (2) the production the certain amount of torque in the presence of unknown external torques, such as gravity (Konczak, Borutta, & Dichgans, 1997). These problems increase when the infant is in supine position because higher muscular torque in the beginning of movement is necessary, and gravity amplifies the arm oscillation. Infants need to develop strategies to solve these intrinsic and extrinsic constraints.

Our findings suggest that the infants at 4 months change the temporal parameters of reaching to adapt to these constraints. In other words, the infants develop a strategy to increase the temporal parameters (duration and deceleration time) of reaching in supine position. Thus, they have more time to process and use the visual information to touch the toy. The model of control that the infants used does not appear to be by feedback as we did not find differences in the straightness index among positions of 4-month-olds. If the infants had used the feedback control, they corrected the trajectory of reaching after error, and it could have increased the trajectory of movement. Thus, the infants did not correct the movement after error but during its execution. According to Out et al. (1998), the differences between supine and seated positions may be caused by feedforward control used during reaching. In supine position, small errors in this control may result in missing the target and, accordingly, in a decrease of reaching frequency.

We used age as an independent variable and considered age as an intrinsic constraint. However, it is known that reaching behavior does not start at the same age for every infant (Wimmers, Savelsbergh, Beek, & Hopkins, 1998) and the experience with regard to the task within one age range (e.g. 4 weeks) can differ significantly. Therefore, in future research, it could be useful to take 'reaching experience' into account to explain the observed behavior.

At 5 and 6 months the body orientation did not have an effect on any of the examined parameters. We believe that after sufficient reaching experience and the improvement of motor abilities to control and coordinate arm movements, infants can resolve the problems related to the instability of arms and higher muscular torque in the beginning of reaching in supine. Therefore, different orientation cannot affect the spatio-temporal parameters of reaching because the infants are able to resolve these biomechanical problems. However, according to Konczak et al. (1997), 4–6 month-old infants experience problems producing the necessary torque in the presence of unknown external torques, such as gravity. A potential explanation is that this might have occurred because the total control over motricity of arm is not the only responsible agent in the gradual development of an accurate reaching pattern. Different body orientations are not the only factors that influence the spatio-temporal parameters of reaching. Other factors include improvements in visual acuity, eye-hand coordination (Bushnell, 1985), cognition (Gibson, 1988) and level of postural control (Fallang et al., 2000). The experience gained after the infant learns and practices reaching also plays an extremely important role (Galloway & Thelen, 2004; Rocha et al., 2006; Thelen, Corbetta, Spencer, Schneider, & Zernicke, 1993; Von Hofsten, 1979, 1984, 1991).

Still another possibility regarding this stability of the reaching trajectory not only at 5 and 6 months but also at 4 months is supported by Konczak and Dichgans (1997) and Out et al. (1998). These researchers also did not find differences in the reaching trajectory in the various positions. According to Out et al. (1998), the reaches of young infants are planned in terms of kinematics of movement (straightness index, radius of curvature and tangential velocity). This means that the young infants change their patterns of EMG activity to maintain the kinematics of movement. In studying adult reaching, Virji-Babul, Cooke, and Brown (1994) verified that the individuals alter their patterns of EMG activity to preserve a common movement trajectory when movements are performed under different gravitational loads. We consider that our infants planned the kinematics of their reaching (straightness index and mean velocity) in relation to different body orientations. However, our findings show that infants are still learning to control the trajectory of movement, which was verified by the changes in the straightness index among the ages. Accordingly, we suggest that the different body orientations, in regard to the gravity vector, are extrinsic constraints which do not affect the stability of trajectory and mean velocity of reaching. According to Thelen et al. (1996), infants learn first to control the movement trajectory and then learn to stabilize it against eventual movement disturbances caused by the changes in the movement's velocity. In their work, these researchers did not find significant differences in mean velocity of infants' reaching during their first year. Each new action pattern developed resulted in new movement problems that the infant must face (Rosengren et al., 2003; Von Hofsten, 2004).

As for our results, we believe that the changes in kinematics variables follow a non-linear direction since the infants changed the temporal parameters of reaching in relation to different positions at 4 months and the straightness index varied amongst all ages. According to Rocha, Silva, and Tudella 2006a, the non-linearity of development suggests that there is a connection between the infants' skills and the environmental information. Nonetheless, our findings do not conclude decisively that the development of reaching is non-linear, and that the intrinsic and extrinsic constraints (infant's skill level and environment) are responsible for this non-linearity. Further studies should be carried out to examine this question.

We conclude that the infants changed their strategies of reaching to adapt to environmental constraints. Our findings show that the development of reaching are influenced on both intrinsic and extrinsic constraints. Depending on the intrinsic constraints (e.g. the relationship between age and development) available, the extrinsic constraints (e.g. different body orientations) will influence the spatio-temporal parameters of reaching in a different way. Therefore, we emphasize that when examining developmental changes in reaching behavior, the infant's body orientation should be taken into account.

#### Acknowledgements

We thank the parents and infants for their cooperation. The first author was supported by Foundation for the Coordination of Higher Education and Graduate Training (CAPES foundation).

Please cite this article as: R.P. Carvalho et al., Spatio-temporal parameters in infant's reaching movements are influenced by body orientation, *Infant Behavior & Development* (2006), doi:10.1016/j.infbeh.2006.07.006

## References

- Barros, R. M. L., Brenzikofer, R., Leite, N. J., & Figueroa, P. J. (1999). Development and evaluation of a system for three-dimensional kinematic analysis of human movements. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, *15*, 79–86.
- Bushnell, E. W. (1985). The decline of visually guided reaching during infancy. *Infant Behavior & Development*, *8*, 139–155.
- Carvalho, R. P., Tudella, E., & Barros, R. M. L. (2005). Utilization of the Dvideow system in kinematic analysis of infants' reaching movements. Utilização do sistema Dvideow na análise cinemática do alcance manual de lactentes. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, *9*, 41–47.
- Clark, J. E., & Whittall, J. (1989). What is motor development? The lessons of history. *Quest*, *41*, 183–202.
- Coelho, Z. A. (2004). Impact of environment information on development of reaching in children born full term at the ages 4 to 6 months. [O impacto da informação ambiental no desenvolvimento do alcance em crianças nascidas a termo na faixa etária de 4 a 6 meses] (Master Thesis), University of Minas Gerais.
- Corbetta, D., & Thelen, E. (1996). The developmental origins of bimanual coordination: A dynamic perspective. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *22*, 502–522.
- Corbetta, D., Thelen, E., & Johnson, K. (2000). Motor constraints on the development of perception-action matching in infant reaching. *Infant Behavior & Development*, *23*, 351–374.
- Fallang, B., Saugstad, O. D., & Hadders-Algra, M. (2000). Goal directed reaching and postural control in supine position in healthy infants. *Behavioural Brain Research*, *115*, 9–18.
- Galloway, J. C., & Thelen, E. (2004). Feet first: Object exploration in young infants. *Infant Behavior & Development*, *27*, 107–112.
- Gibson, E. J. (1988). Exploratory behavior in the development of perceiving, acting and the acquiring of knowledge. *Annual Review of Psychology*, *39*, 1–41.
- Konczak, J., Borutta, M., & Dichgans, J. (1997). The development of goal-directed reaching in infants: II. Learning to produce task-adequate patterns of joint torque. *Experimental Brain Research*, *113*(3), 465–474.
- Konczak, J., & Dichgans, J. (1997). The development toward stereotypic arm kinematics during reaching in the first 3 years of life. *Experimental Brain Research*, *117*, 346–354.
- Mathew, A., & Cook, M. (1991). The control of reaching movements by young infants. *Child Development*, *61*, 1238–1257.
- Newell, K. M. (1986). Constraints on the development of coordination. In M. Wade, & H. T. A. Whiting (Eds.), *Motor development in children: Aspects of coordination and control* (pp. 351–360). Boston: Martin Jhoff.
- Out, L., Savelsbergh, G. J. P., Van Soest, A. J., & Hopkins, B. (1997). Influence of mechanical factors on movements units in infant reaching. *Human Movement Science*, *16*, 733–748.
- Out, L., Van Soest, A. J., Savelsbergh, G. J. P., & Hopkins, B. (1998). The effect of posture on early reaching movements. *Journal of Motor Behavior*, *30*, 260–272.
- Pryde, K. M., Roy, E. A., & Campbell, K. (1998). Prehension in children and adults: The effects of object size. *Human Movement Science*, *17*(6), 743–754.
- Rocha, N. A. C. F., Silva, F. P. S., & Tudella, E. (2006). The impact of object size and rigidity on infant reaching. *Infant Behavior & Development*, *29*, 251–261.
- Rocha, N. A. C. F., Silva, F. P. S., & Tudella, E. (2006a). Development of reaching in healthy infants: linearity? [Alcance manual em lactentes saudáveis: desenvolvimento linear?]. *Revista Fisioterapia e Pesquisa*, *13*(2), 30–37.
- Rochat, P. (1992). Self-sitting and reaching in 5–8 month-old infants: Impact of posture and its development on early eye-hand coordination. *Journal of Motor Behavior*, *24*, 210–220.
- Rochat, P., & Goubet, N. (1995). Development of sitting and reaching in 5 to 6-month-old-infants. *Infant Behavior & Development*, *18*, 53–68.
- Rosengren, K., Savelsbergh, G. J. P., & Van der Kamp, J. (2003). Development and learning: A TASC-based perspective of the acquisition of perceptual-motor behaviors. *Infant Behavior & Development*, *26*, 473–494.
- Savelsbergh, G. J. P., & Van der Kamp, J. (1994). The effect of body orientation to gravity on early infant reaching. *Journal of Experimental Child Psychology*, *58*, 510–528.
- Thelen, E., Corbetta, D., & Spencer, J. P. (1996). Development of reaching during the first year: Role of movement speed. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *22*, 1059–1076.
- Thelen, E., Corbetta, K. K., Spencer, J. P., Schneider, K., & Zernicke, R. F. (1993). The transition to reaching: Mapping intention and intrinsic dynamics. *Child Development*, *64*, 1058–1098.
- Van der Fits, I. B. M., & Hadders-Algra, M. (1998). The development of postural response patterns during reaching in healthy infants. *Neuroscience and Biobehavioral reviews*, *22*, 521–526.
- Van der Kamp, J., Oudejans, R. D. D., & Savelsbergh, G. J. P. (2003). The development and learning of the visual control of movement: An ecological perspective. *Infant Behavior & Development*, *26*, 495–515.
- Van Hof, P., Van der Kamp, J., Caljouw, S. R., & Savelsbergh, G. J. P. (2005). The confluence of intrinsic and extrinsic constraints on 3- to 9-month-old infants' catching behavior. *Infant Behavior & Development*, *28*, 179–193.
- Van Hof, P., Van der Kamp, J., & Savelsbergh, G. J. P. (2004). The information-based control of interceptive timing: A developmental perspective. In H. Hecht, & G. J. P. Savelsbergh (Eds.), *Time-to-contact* (pp. 141–173). North-Holland: Elsevier.
- Van Hof, P., Van der Kamp, J., & Savelsbergh, G. J. P. (2006). Three to eight months infants catching under monocular and binocular vision. *Human Movement Science*, *25*, 18–36.
- Von Hofsten, C. (1979). Development of visually directed reaching: The approach phase. *Journal of Human Movements Studies*, *5*, 160–178.
- Von Hofsten, C. (1982). Eye-hand coordination in the newborn. *Developmental Psychology*, *18*, 450–461.

Please cite this article as: R.P. Carvalho et al., Spatio-temporal parameters in infant's reaching movements are influenced by body orientation, *Infant Behavior & Development* (2006), doi:10.1016/j.infbeh.2006.07.006

† Model  
INFBEH-345; No. of Pages 10

ARTICLE IN PRESS

10

*R.P. Carvalho et al. / Infant Behavior & Development xxx (2006) xxx–xxx*

Von Hofsten, C. (1984). Developmental changes in the organization of prereaching movements. *Developmental Psychology*, 20, 378–386.

Von Hofsten, C. (1991). Structuring of early reaching movements: A longitudinal study. *Journal of Motor Behavior*, 23, 280–292.

Von Hofsten, C. (2004). An action perspective on motor development. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 266–272.

Virji-Babul, N., Cooke, J. D., & Brown, S. H. (1994). Effects of gravitational forces on single-joint arm movements in humans. *Experimental Brain Research*, 99, 338–346.

Wimmers, R. H., Savelsbergh, G. J. P., Beek, P. J., & Hopkins, B. (1998). Some evidence for a phase transition in the development of prehension. *Developmental Psychobiology*, 32, 235–248.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
PRÓ - REITORIA DE PÓS - GRADUAÇÃO E PESQUISA  
COORDENADORIA DE PESQUISA  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

O Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFSCar, registrado no CONEP/Conselho Nacional de Saúde, pelo ato de 18 de março de 1997, DELIBEROU aprovação o projeto com protocolo nº 092/2002 e título: "**AVALIAÇÃO DO MOVIMENTO DE ALCANCE EM BEBÊS DE 4 A 6 MESES**" sob a responsabilidade de Raquel de Paula Carvalho com orientação da Profa. Dra. Eloisa Tudella.

São Carlos, 18 de dezembro de 2002.



---

Prof. Dr. Jorge Oishi  
Presidente da Comissão de Ética

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA**

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Eu, \_\_\_\_\_, responsável pelo(a) menor \_\_\_\_\_, RG \_\_\_\_\_, residente à rua \_\_\_\_\_, telefone \_\_\_\_\_, autorizo a participação de meu (minha) filho(a) no projeto “Avaliação do movimento de alcance em bebês normais de 4 a 6 meses”. Após esclarecimentos por parte da pesquisadora, tenho pleno conhecimento dos procedimentos a serem utilizados, da relevância desse estudo e de que meu (minha) filho(a) não sofrerá qualquer dano físico, psíquico, moral ou social. Além disso, terei total liberdade de abandonar a pesquisa caso não concorde com algum procedimento ou se assim eu desejar. Permito que toda avaliação seja filmada e que esses dados possam ser utilizados para divulgação científica, respeitando o código de ética da instituição, com a garantia de que meu (minha) filho(a) não será identificado(a).

São Carlos,        de                        de 200 .

\_\_\_\_\_  
Assinatura do responsável

\_\_\_\_\_  
Raquel de Paula Carvalho  
Pesquisadora responsável .

---

**Early control of reaching: effects of experience and body orientation**

**\*R.P. Carvalho<sup>1</sup>, E. Tudella<sup>1</sup>, S. R. Caljouw<sup>2</sup>, G.J.P. Savelsbergh<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Department of Physiotherapy, Neuropediatric Section, University Federal of São Carlos, Rod. Washington Luis km 235, 13565-905, São Carlos-SP, Brazil

<sup>2</sup>Research Institute MOVE, Faculty of Human Movement Sciences, VU University, Amsterdam, Van der Boechorststraat 9, 1081 BT Amsterdam, the Netherlands

<sup>3</sup>Institute for Biophysical and Clinical Research into Human Movement, Manchester Metropolitan University, Hassall Road, Alsager, ST7 2HL, UK

\* Corresponding author:

Raquel de Paula Carvalho

Alameda das Papoulas, 125, apto 24, Cidade Jardim, CEP: 13566-545, São Carlos

Phone Number: 55-16-33518407

e-mail: [raquel\\_pc@yahoo.com.br](mailto:raquel_pc@yahoo.com.br)

**Abstract**

Although research suggests that experience may be a better indicator of the acquisition of certain abilities by infants than age, little work addresses reaching movements in particular. This longitudinal study fills this gap by verifying the effect of experience on infant reaching in different body orientations. Less- (n=6) and more-skilled (n=4) reachers were evaluated at the acquisition of reaching and again after one month of spontaneous practice. Kinematic analyses examined 3D wrist motion during reaching trials in supine (0°), reclined (45°) and seated (70°) orientations. The results indicate that experience was a more relevant constraint than age for frequency of reaching. The levels of skill affected the way less- and more-skilled reachers explored and adapted the kinematic parameters of reaching to constraints imposed by body orientations. These findings suggest that experience and body orientations are important constraints that should be taken into account when examining infant reaching development.

*Keywords:* Reaching; kinematics; body orientation

## 1. Introduction

Infants acquire and develop important motor abilities during the first year of life. The emergence of reaching, in particular, has been studied extensively during the last thirty years (Konczack & Dichigan, 1997; Thelen, Corbetta, & Spencer, 1996; Von Hofsten, 1979, 1982, 1991). A reaching movement requires a certain level of interaction between infant and environment, and represents an improved perception of the world and recognition of some of the gamut of possible actions (Rosengren, Savelsbergh, & Van der Kamp, 2003; Savelsbergh & Van der Kamp, 1993; Von Hofsten, 1991). From a constraint-led perspective, the development of action is generally brought about by changes within and between the constraints imposed upon the organism-environment system (Newell, 1986). Particular constraints may act, at certain developmental time, as rate-limiting factors in the emergence and mastering of new motor actions. In other words, one can consider constraints as those factors that somehow set boundaries for the control and coordination of an action and changes therein. The interaction of these constraints does not prescribe the pattern or the performance of an action, but it guides its development by making the occurrence of certain patterns more or less probable. A change in the confluence of constraints, therefore, can eventuate in a change in action, with no predominant constraints. It is the interaction between intrinsic and extrinsic constraints that makes some but not other actions possible at a particular time and place (Rosengren et al., 2003). The present study examines how the interaction between intrinsic and extrinsic constraints affects the early coordination of reaching.

Newell's constraint-led perspective was supported by studies that attempted to understand the development of reaching by taking into account intrinsic constraints, like the level of postural control (Rochat & Goubet, 1995; Fallang, Saugstad & Hadders-Algra, 2000), as well as extrinsic constraints, such as investigating the use of objects of different sizes (Van Hof, Van der Kamp & Savelsbergh, 2006) and rigidity (Rocha, Silva & Tudella, 2006), objects in motion (Van Hof, Van der Kamp, Caljouw & Savelsbergh, 2005) and influence of gravity by imposing different body orientations (Rochat, 1992; Savelsbergh & Van der Kamp, 1994; Out, Van Soest, Savelsbergh & Hopkins, 1998).

In the experiment conducted by Savelsbergh and Van der Kamp (1994), reaching movements were analyzed in 12-27-week-old infants seated in an infant chair that could be adjusted to three body orientations: seated, reclined, and supine. Reaching and grasping were observed to be affected by age and body orientation. Specifically in the seated orientation, the 12-19-week-old infants showed patterns of reaching and grasping that were comparable to those of 20-27-week-old infants, regardless of body orientation. However, when the younger infants were in supine, they not only performed fewer reaching and grasping movements, but also seemed to have poorer control and coordination. The observation that only the young infants' movements were affected by body orientation suggests that biomechanical constraints (e.g. muscle power in order to overcome the gravity force) may act as a rate-limiting factor during the development of reaching and grasping. Carvalho, Tudella and Savelsbergh (2007), when conducting a longitudinal study to verify the effect of seated and supine positions on spatio-temporal parameters of reaching at 4, 5 and 6 months, verified that frequency and straightness of reaching increased over age. Significant differences in reaching between the body orientations were observed at 4 months, that is, the frequency increased and the duration and deceleration time decreased in the seated position. There were no significant differences between the body orientations at 5 and 6 months. These findings suggest that young infants adapt their behavior to both intrinsic (i.e. age) and extrinsic (i.e. body orientation) constraints. In summary, this previous research linked adaptive response with infant's age, in which the latter is intercorrelated with developmental factors such as changes in body dimensions, duration of reaching experience, and reaching proficiency (Adolph, 1997). In this regard, it is important to note that Adolph's study (1997; 2000) on the locomotion over different slopes

showed that the duration of crawling experience is a better predictor of adaptive response than age. Not only experience but also the infants' level of skill may affect adaptiveness. Generally, more skilled performers are better able to direct their attention to relevant properties, just like an expert rock climber may notice handholds and footholds that a novice would not (Gibson, 1969). Thus, infants' reaching skill may also mediate adaptive responses. The literature provides scant data about effects of practice duration and skill on adaptive reaching. Previous work showed that older, probably more experienced and skilled reachers, behaved more adaptively than younger, probably less experienced and skilled reachers. The present study explores the possibility to investigate these factors separately in order to find whether practice time and infant's reaching skill are more important constraints than age.

There are many factors that can determine the level of reaching behavior in young infants, namely the number of opportunities to practice the movement, improvement in controlling arm movements, perception of the appropriate action for specific situations and inclination to reach (Lobo, Galloway & Savelsbergh, 2004; Wimmers, Savelsbergh, Beek & Hopkins, 1998; Van Hof et al., 2005). However, the question is: how do we determine that infants of the same age are more or less skilled in reaching? The works of Savelsbergh and Van der Kamp (1994) and Carvalho et al. (2007) provide us with a suggestion. Reaching movements were less controlled and coordinated in the infants that showed fewer reaches in the supine position. In contrast, better controlled reaching movements were observed in infants that showed more reaches in supine position. In other words, if an infant reaches more (i.e. a higher amount of reaches) in the supine body orientation, s/he is more skilled in reaching. To classify infants as either less- or more-skilled reachers we first identified the frequency of reaching in supine, reclined and seated orientations. Particularly the amount of reaching in supine was picked out as an indicator for the level of reaching skill.

The aim of the current exploratory study is to examine the effect of practice time on reaching movements for more- and less skilled reachers in different body orientations. The experimental design adopted was longitudinal because it is well known that reaching does not emerge at the same age for every infant (Carvalho et al., 2007; Thelen et al., 1993; Rocha et al., 2006; Wimmers et al., 1998). The current experiment tracked infants' reaching performance in different body orientations from their first reaching attempts to experienced reaching achieved several weeks later. Thus, the design controlled practice duration, but infants' ages varied within test sessions. Anyway, all infants grew older across sessions. In order to determine the skill level at the acquisition of reaching, this behavior was evaluated not at a particular age, but at the 'onset' of reaching, i.e. at the first lab visit after the infants acquired the behavior.

## **2. Methods**

### *2.1. Participants*

Thirteen healthy full term infants (four boys and nine girls) participated in this study. The infants were evaluated longitudinally at the ages of 4 (M = 4 months 1 day; SD = 3 days), 5 (M= 5 months; SD=2 days), and 6 months (M= 6 months; SD=3 days). However, three infants were excluded from this study since they performed no reaches during two consecutive evaluations. Based on statistical analyses for frequency of reaches in supine, reclined and seated body orientations at the acquisition of reaching, the ten infants included in this study were classified at the acquisition of reaching (i.e. lab session Practice Time 1) into two groups (cf. Table 1): less-skilled reachers, who showed a lower frequency of reaches in supine orientation (n=6); and more-skilled reachers, who showed more reaches in supine (n=4).

The current study was approved by the Human Research Ethics Committee of University Federal of São Carlos (protocol nº 092/2002), Brazil; and previous informed legal consent was obtained from the participants' parents.

## 2.2. *Materials and procedures*

The infant was positioned in a “baby chair” set at the center of a calibrated volume (0,480 x 0,320 x 2,300m) (Carvalho et al., 2005). Spherical, passive markers were affixed to the infant's wrist (dorsal region of the carpus) with double-sided hypoallergenic tape (Out et al., 1997). Several attractive toys were offered to the infant positioned in three different body orientations: supine, reclined and seated (0°, 45°, 70° from the horizontal, respectively). The sequence of body orientations was chosen at pseudorandom. In each body orientation, before starting the toy presentation, a twenty-second interval was allowed for the infant to get used to the position. The first attractive toy was offered for 2 minutes at the infant's midline, at shoulders height, and at an arm's length distance (Corbetta, Thelen, & Johnson, 2000; van der Fits, & Hadders-Algra, 1998; Rocha, Silva, & Tudella, 2006). After each reach, the toy was taken away and presented again. The same procedure was followed with a second toy. If the infant showed no interest in any of the two toys, a third toy was presented. All toys were small and of different shapes. In order to avoid interference in the movement biomechanics, no strict hand position was imposed. The total time of the experiment was about 13 minutes.

The whole experimental phase was filmed using three digital cameras (60Hz). One was positioned above and behind the chair, and the other two, in front of and diagonally to the chair – one on the right and one on the left side – so that all the markers were visible throughout the reaching movements (Carvalho et al., 2005). To analyze the movements of the right arm, the images from the cameras above and on the right side of the chair were used; while the images from the cameras above and on the left side we used to analyze the movements of the left arm.

The images from the three cameras were picked up by an image capture board. The behavior of the infants was coded while playing the records. The three-dimensional reconstruction of the reaches was carried out, frame by frame, via the Dvideow 5.0 image analyses system (Barros, Brenzikofer, Leite, & Figueroa, 1999). The Matlab 6.0 program was used to filter the (x,y,z) coordinates. A fourth-order Butterworth filter with a cutoff frequency of 6Hz was used.

Although the infants were evaluated three times, i.e. at 4, 5 and 6 months, reaching behavior was in general analyzed two times. In other words, reaches were analyzed during the first lab visit in which reaching occurred and during the subsequent lab visit, i.e. after 1 month of spontaneous practice. Only for 4 less-skilled reachers, reaches were analyzed a third time, i.e. after 2 months of practice. Thus, three conditions were established: Practice Time 1 (PT1), comprised of reaches performed shortly after the onset of reaching; Practice Time 2 (PT2), comprised of reaches performed after 1 month of spontaneous practice; and Practice Time 3 (PT3), comprised of reaches performed after 2 months of practice.

## 2.3 *Description of dependent variables*

A reach was considered as valid when the goal-directed arm movement resulted in a touch of the toy with the infant's hand, at any time in its trajectory. The beginning of a reach was defined as the first frame when the infant's arm began an uninterrupted approach toward the object. The end of a reach was defined as the first frame when the infant's hand touched the toy. (Fallang, Saugstad, & Hadders-Algra, 2000; Out et al., 1998; Rocha et al., 2006; Thelen et al., 1996). The *frequency of reaching* was calculated as the number of reaching movements considered as valid in each body orientation.

The kinematic variables of reaching were analyzed and classified in three groups: temporal, spatial and spatio-temporal parameters. The temporal parameters analyzed were: (1) the *duration of reaching*, calculated as the difference in time between the beginning of the arm movement and the touch of the toy; and (2) the *deceleration index*, calculated as the ratio between the deceleration time and the duration of the entire reaching movement, in percentage. Deceleration time was measured by the time between the peak of velocity and the end of the reach (Pryde, Roy, & Campbell, 1998). Deceleration index indicated the percentage of time spent decelerating the arm movement so that the hand touched the toy.

Spatial parameters comprised variables that characterize the smoothness of the reaching trajectory. (3) *Straightness index* indicated whether the actual reaching trajectory was greater than the minimal possible distance that virtually could be traveled by the hand to reach for the toy. It was calculated as the ratio between the minimal distance that could have been traveled (distance between the initial position of the hand and the object) and the actual distance traveled by the hand. A straightness index of 1 indicates that the infant performed a reaching through the shortest possible trajectory (Thelen et al., 1996). (4) The *number of movement units* was defined as the number of maximum velocities between two minimum velocities, for which the difference was greater than 1 cm/sec (Thelen et al., 1996). The velocity was obtained by the vector norm, which is the square root of the addition of X, Y and Z squares.

Spatio-temporal parameters comprised velocity-related variables. (5) The *mean velocity* was obtained by calculating the ratio between the norm of the distance traveled by wrist marker and the duration of reaching (Mathew & Cook, 1991). (6) The *velocity at the touch* was defined as the instantaneous velocity in the ending of reach, when infant touched the toy.

Chi-square, Wilcoxon, Mann-Whitney and Kruskal-Wallis tests were used to examine possible differences in dependent variables among less- and more-skilled reachers in relation to time of practice (PT1, PT2, and PT3), in different body orientations.

### 3. Results

Based on the frequency of reaches in supine body orientation at the acquisition of reaching (PT1), infants were classified into two categories: more and less-skilled reachers (Table 1). The Chi-square Test endorsed lower frequency of reaching in supine compared to other body orientations for the less-skilled group ( $X^2(2)=20.739$ ;  $p<0.01$ ) and no difference in frequency of reaching among body orientations for more-skilled reachers ( $X^2(2)=1.28$ ;  $p=0.527$ ) (see Figure 1). In general, it was observed a lower frequency of reaching for less-skilled group than more-skilled one ( $X^2(1)=31.250$ ;  $p<0.01$ ).

*Insert Table 1*

#### 3.1. The frequency of reaching

*Insert Table 2 and Figure 1*

Table 2 shows the age and frequency of reaches for less- and more-skilled reachers at the acquisition of reaching (PT1) and after 1 month of spontaneous practice (PT2). Obviously, the less-skilled as well as the more-skilled reachers in PT2 session were older than in PT1 session ( $Z=-2.207$ ,  $p=0.02$  and  $Z=-1.826$ ,  $p=0.06$ , respectively). More importantly, comparisons for age between the two skill groups showed no significant differences in both PT1 ( $U=3$ ,  $p=0.10$ ) and PT2 sessions ( $U=8$ ,  $p=0.38$ ). Thus, the more-skilled reachers were not significantly older than the less-skilled ones.

Less-skilled reachers had a lower frequency of reaching at PT1 (17.7) than PT2 (33.0) ( $X^2(1)=27.842$ ,  $p<0.01$ ), while no significant differences were found for more-skilled reachers between PT1 (43.8) and PT2 (44.5) sessions ( $X^2(1)=0.025$ ,  $p=0.87$ ). In the PT1 session, the frequency of reaching was significantly lower for less-skilled reachers than more-skilled ones ( $X^2(1)=16.943$ ,  $p<0.01$ ). After 1 month of practice (PT2), there were no significant differences in the frequency of reaching between the two skill groups ( $X^2(1)=1.064$ ,  $p=0.30$ ).

Thus, as depicted in figure 1, there were differences in age within each practice time but not between the two skill groups. Furthermore, after 1 month of spontaneous practice, a significant change in the frequency of reaching was observed only for less-skilled reachers.

### *Insert Figure 2*

Figure 2 shows the frequency of reaching in the PT1 and PT2 sessions for less- and more-skilled reachers in supine, reclined and seated orientations. Because of the differences found for frequency of reaching between the less-skilled reachers in PT1 and PT2, we further analyzed this effect of practice time by including the analyses of reaches after 2 months of spontaneous practice (i.e. PT3) for 4 less-skilled reachers (M=244 days of age, SD=2.16 days). Chi-Square tests were applied to verify whether body orientations affected the frequency of reaching for the two skill groups over practice time.

In the PT1 session (Figure 2A and 2D), less-skilled reachers were shown to perform fewer reaches in supine than more-skilled ones ( $X^2(1)=31.250$ ;  $p<0.01$ ). The difference in the frequency of reaching between less- and more-skilled reachers in reclined body orientation was just not significant ( $X^2(1)=3.8$ ;  $p=0.051$ ), the trend was again a lower frequency for the less-skilled reachers. No significant difference in the frequency of reaching was observed between the two skill groups in the seated body orientation,

For the less-skilled reachers (Figure 2A-C) in the supine body orientation, the frequency of reaching increased for each increase in practice time, that is, the frequency of reaching was significantly lower in the PT1 session than in the PT2 session ( $X^2(1)=28.688$ ,  $p<0.01$ ) and in the PT2 compared to the PT3 session ( $X^2(1)=4.745$ ,  $p=0.03$ ). For less-skilled reachers in reclined body orientation, the frequency at PT1 was lower than at PT2 ( $X^2(1)=8.981$ ,  $p=0.003$ ). For the less-skilled reachers in seated body orientation, no significant differences were found in the frequency of reaching over practice time. In summary, practice time improved the frequency of reaching for the less skilled reachers only in supine and reclined body orientations.

### *3.2 Kinematics of reaching*

Out of 799 reaching movements collected, 147 were excluded from the kinematical analyses because of experimental errors, that is when the infant began the arm movement with the hand close to the object, or when one of the markers was not picked up by cameras for more than 10% of the duration of the reaching. Table 3 shows kinematic variables of these 652 reaches analyzed in supine, reclined and seated body orientations for less- and more-skilled reachers in the PT1, PT2, and PT3 sessions.

### *Insert Table 3*

For the interpretation of the kinematic data, we assume that an improvement in coordinated arm movements as a result of better control over the arm movements can be identified by: shorter duration, increased straightness, fewer movement units and increased arm velocity.

### 3.2.1. *Less-skilled versus more-skilled at PT1*

Initially, we analyzed kinematic parameters between less-skilled and more-skilled infants at PT1 for each body orientation separately. Comparisons showed that mean velocity ( $U=59$ ,  $p<0.01$ ) and velocity at the touch ( $U=150$ ,  $p=0.005$ ) were lower for less-skilled infants in supine position. In reclined orientation, duration ( $U=543$ ,  $p=0.02$ ) was higher and mean velocity ( $U=432$ ,  $p<0.01$ ) was lower for more-skilled infants. In the seated orientation, no differences were found between both groups of infants, indicating improved arm coordination in this body orientation for the less-skilled group. In other words, the less-skilled infants resemble the more-skilled ones in the seated body orientation in the PT1 session.

### 3.2.2. *Effects of spontaneous practice within the less-skilled group*

In order to identify the reaching development of the less-skilled group, we compared kinematic parameters, firstly, between supine, reclined and seated body orientations for less-skilled infants at 4-5 and 5-6 months (PT1 vs PT2), and more-skilled infants at PT1, secondly, between each body orientation for less-skilled infants at PT1, PT2 and PT3 and, thirdly, between more-skilled infants at PT1 and less-skilled infants at PT2.

With respect to the first analyses: for less-skilled group of infants at PT1, mean velocity ( $H(2)=9.627$ ,  $p=0.008$ ) and velocity at the touch ( $H(2)=7.549$ ,  $p=0.023$ ) were higher in seated while duration ( $H(2)=10.146$ ,  $p=0.007$ ) was lower in seated body orientation. For the same group of less-skilled infants at 5-6 months (PT2), duration ( $H(2)=6.735$ ,  $p=0.034$ ) and number of movement units ( $H(2)=12.912$ ,  $p=0.002$ ) were lower in seated while mean velocity ( $H(2)=16.485$ ,  $p<0.01$ ) and velocity at the touch ( $H(2)=9.525$ ,  $p=0.009$ ) was lower in reclined. For more-skilled group of infants at PT1, there were no significant differences for kinematic parameters between body orientations.

In the second series of analyses, comparisons between each body orientation for less-skilled at PT1, PT2 and PT3 were performed. Mean velocity ( $H(2)=15.192$ ,  $p=0.001$ ) and velocity at the touch ( $H(2)=7.829$ ,  $p=0.02$ ) were lower at PT1 in supine body orientation. In reclined position, deceleration index ( $H(2)=9.419$ ,  $p=0.009$ ) was lower in PT2. In seated body orientation, straightness index ( $H(2)=7.490$ ,  $p=0.02$ ) and mean velocity ( $H(2)=7.554$ ,  $p=0.02$ ) and were lower at PT1.

Lastly, in the third series the kinematic parameters of more-skilled infants at 4 PT1 and less-skilled at PT2 were compared. The Mann Whitney test was used to verify differences for each body orientation. In supine, movement unit ( $U=884$ ,  $p=0.016$ ) was higher for more-skilled infants at PT1. In reclined position, mean velocity ( $U=777$ ,  $p<0.01$ ) and velocity at the touch ( $U=1008.5$ ,  $p=0.03$ ) were lower for less-skilled infants at PT2. In seated position, movement unit was lower for less-skilled infants at PT2 ( $U=715.5$ ,  $p=0.008$ ).

### 3.2.3. *Summary of findings*

In summary, body orientations affected reaches in accordance with the levels of skill, as evidenced by the differences in spatial, temporal and spatio-temporal parameters between less- and more-skilled reachers in the PT1 session.

Less-skilled reachers in the PT1 session performed better controlled reaches when sitting upright as evidenced by differences in spatial, temporal and spatio-temporal parameters among supine, reclined and seated orientations. Kinematic parameters of reaching were not affected by the different body orientations for the more-skilled reachers in the PT1 session.

In comparisons among the three sessions in time for less-skilled reachers, infants performed more coordinated reaches after spontaneous practice. However, after 1 month of practice (i.e PT2), the reaches of less-skilled reachers were still not similar to those of the more-skilled reachers in the PT1 session for spatial, temporal and spatio-temporal parameters

in the three body orientations. In other words, although less-skilled reachers had 1 month of practice, they performed less coordinated reaches than more-skilled ones in the PT1 session.

#### **4. Discussion**

The literature provides scant data about the effects of practice duration and skill level on adaptive reaching, frequently underlining that adaptive reaching is ascribed to infants' age. Previous work showed that older, probably more experienced and skilled reachers, behaved more adaptively than younger, probably less experienced and skilled reachers. For example, significant differences in reaching behavior between seated and supine body orientations were observed at 4 months, and these differences disappeared at 5 and 6 months (Carvalho et al., 2007). The present study had an explorative character; it only tested a small sample of infants, but it aimed to separately investigate such often confused developmental factors as age, skill level, and practice duration.

##### *Age and skill level*

The present study controlled the duration of practice, but infants' ages varied within test sessions. The data indicated differences in skill level, evidenced by the number of reaching attempts in supine body orientation when the infants performed their first reaching attempts in the lab. These differences in skill level did not result from a difference in age. As depicted in figure 1, there were no significant differences in age between the two skill groups at this first test session (PT1). This suggests that at the same age some infants are more proficient reachers than others. According to Corbetta and Thelen (1996), and Van Hof et al., (2005), there is an intrinsic constraint that is the infant's inherent coordination preference or inclination to reach. The authors found this preferred underlying forms in relation to bimanual and unimanual arm's coordination. We believe that this intrinsic constraint can also explain why infants had different levels of reaching skill when they started to reach in our lab. To put it bluntly, some infants have more talent for manual abilities than others. Another possible explanation for these differences between levels of skill for infants at the age of reaching acquisition can be based on caregiver–infant object-play relations. Lobo, Galloway and Savelsbergh (2004) demonstrated that early movement experience during the emergence of reaching improved the ability to contact objects. Infants receiving 14 days of daily toy interaction mediated by their parents were shown to perform higher frequency and duration of toy contacts than control infants. Furthermore, according to Gibson and Pick (2000), adults change the social environment when they perceive that infants are responding to their stimulus. For instance, if infants demonstrate attention or attempt to reach for a toy, the adult tends to show it more frequently and/or show different objects. The authors also point out that very young infants spontaneously engage in a significant amount of self-education. It is possible that parents of more-skilled reachers engaged more in such interactions with their infants than parents of less-skilled ones. Consequently, more-skilled infants were able to improve their reaches faster than the infants classified as less-skilled.

##### *Skill level and reaching behavior in the different body orientations*

At the acquisition of reaching, the less-skilled reachers showed more reaching attempts in the seated body orientation than in the other two body orientations. This result supports the previous findings that the gravitational constraint might determine, at an early developmental stage, whether or not an infant would attempt to reach for the object. The lower frequency of reaches in the supine orientation for younger, but not for older infants, was attributed to the mechanical instability of the arms and the need for higher muscular torque (Carvalho et al., 2007; Savelsbergh and Van der Kamp, 1994; Out et al., 1998). However, our results showed that the gravitational constraint determined whether or not the less-skilled, but

not the more-skilled infant, would attempt to reach for the object. The more-skilled infants, of the same age group and test session as the less skilled infants, did not differ in frequency of reaching among the body orientations. Furthermore, the kinematic analysis indicated that the seated body orientation facilitated the control of reaching. The less-skilled infants, but not the more-skilled ones, showed differences in reaching kinematics among the body orientations. In summary, the better level of skill, evidenced by a higher frequency of reaches in supine, was concomitant of a better ability to control reaching in the different body orientations. Based on the present results, we suggest that skill level is an important factor in the development of adaptive reaching. More-skilled reachers found adequate solutions to the biomechanical problems related to body orientation with respect to gravity. Note that skill itself is not an explanatory factor; improved visual acuity, eye-hand coordination, cognitive processes, postural control, and learning of movement (Fallang et al., 2000; Rocha et al., 2006; Rochat & Goubert, 1995; Van Hof, Van der Kamp & Savelsbergh, 2004, 2006) are all considered to contribute to the stability of reaching frequency over different body orientations.

#### *The influence of practice time*

Our analyses of the frequency of reaching provided the first insight into how less-skilled and more-skilled infants adapted their reaches to different body orientations over practice time. Practice time improved the reaching frequency for the less skilled reachers in the supine and reclined body orientations. After 1 month of spontaneous practice and experience gained consequently, the (at their first attempts) less-skilled reachers generated reaching frequency results not significantly different from the more-skilled reachers at their first attempts, i.e. for both groups no significant differences in reaching frequency over the three body orientations were observed. This suggests that besides skill level also practice duration is an important factor in finding adequate solutions to the biomechanical problems related to body orientation with respect to gravity. However, the kinematical analysis showed that more-skilled reachers in their first test session showed no significant differences in the kinematic parameters among the body orientations, whereas after 1 month of practice, the less-skilled infants still did not demonstrate unaltered kinematic parameters among body orientations. Although the experienced less-skilled infants are in the second test session (PT2) older than the more-skilled infants when they performed their first reaching attempts in the lab (PT1), the less-skilled infants still performed less controlled reaches. This confirms again that age is clearly not the sole predictive factor and that skill level mediates the process of adaptive reaching.

Solutions for problems related to gravity depend on the infants' level of skill, which is, among other things, related to the opportunities that infants have to explore their reaching movement. Exploration and adaptation are important parts of the learning process, permitting infants to improve in perceiving and acting upon the opportunities that the environment provides. Improvement in reaching style results in an increase in the ability to get relevant information from the environment that specifies new action opportunities. Development of action capabilities change the relation between an active organism and the environment and the discovery of action possibilities by the infant. This process is defined as perceptual learning (Gibson, 1969; Gibson & Pick, 2000). Learning takes place when infants perform appropriate exploratory movements that make available essential information necessary for functionally adaptive responses (Adolph, 1997). We therefore emphasize that it is not only extrinsic constraints such as body orientation and intrinsic constraints such as age that should be taken into account in research into infant reaching development, but also experience related factors such as the level of skill and the time of practice specifically during the emergence of this ability.

## 5. References

- Adolph, K. E. (1997). Learning in development of infant locomotion. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 62 (3, serial no. 251).
- Adolph, K. E. (2000). Specificity of learning: why infants fall over a veritable cliff. *Psychological Science*, 11 (4), 290-295.
- Barros, R. M. L., Brenzikofer, R., Leite, N. J., & Figueroa, P. J. (1999). Development and evaluation of a system for three-dimensional kinematic analysis of human movements. [Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos]. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, 15, 79–86.
- Carvalho, R. P., Tudella, E., & Barros, R. M. L. (2005). Utilization of the Dvideow system in kinematic analysis of infants' reaching movements. [Utilização do sistema Dvideow na análise cinemática do alcance manual de lactentes]. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 9, 41–47.
- Carvalho, R. P., Tudella, E., & Savelsbergh, G. J. P. (2007). Spatio-temporal parameters in infant's reaching movements are influenced by body orientation, *Infant Behavior & Development*, 30, 26-35.
- Corbetta, D. & Thelen, E. (1996). The developmental origins of bimanual coordination: a dynamic perspective. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 502-522.
- Corbetta, D., Thelen, E., & Johnson, K. (2000). Motor constraints on the development of perception-action matching in infant reaching. *Infant Behavior & Development*, 23, 351–374.
- Fallang, B., Saugstad, O. D., & Hadders-Algra, M. (2000). Goal directed reaching and postural control in supine position in healthy infants. *Behavioural Brain Research*, 115, 9–18.
- Gibson, E. J. (1969). *Principles of perceptual learning and development*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Gibson, E. J., Pick, A. D. (2000). *An ecological approach to perceptual learning and development*. New York: Oxford University Press.
- Konczak, J., & Dichgans, J. (1997). The development toward stereotypic arm kinematics during reaching in the first 3 years of life. *Experimental Brain Research*, 117, 346-354.
- Lobo, M. A., Galloway, J. C., Savelsbergh, J. P. (2004). General and task-related experiences affect early object interaction. *Child Development*, 75, 1268-1281.
- Mathew, A., & Cook, M. (1991). The control of reaching movements by young infants. *Child Development*, 61, 1238–1257.
- Newell, K. M. (1986). Constrains on the development of coordination. In M. Wade & H. T. A. Whitng (Eds.), *Motor development in children: Aspects of coordination and control* (pp. 351–360). Boston: Martin Jhoff.
- Out, L., Savelsbergh, G. J. P., Van Soest, A. J., & Hopkins, B. (1997). Influence of mechanical factors on movements units in infant reaching. *Human Movement Science*, 16, 733–748.
- Out, L., Van Soest, A. J., Savelsbergh, G. J. P., & Hopkins, B. (1998). The effect of posture on early reaching movements. *Journal of Motor Behavior*, 30, 260-272.
- Pryde, K. M., Roy, E. A., & Campbell, K. (1998). Prehension in children and adults: The effects of object size. *Human Movement Science*, 17(6), 743–754.
- Rocha, N. A. C. F., Silva, F. P. S., & Tudella, E. (2006). The impact of object size and rigidity on infant reaching. *Infant Behavior & Development*, 29, 251–261.
- Rochat, P. (1992). Self-sitting and reaching in 5–8 month-old infants: Impact of posture and its development on early eye-hand coordination. *Journal of Motor Behavior*, 24, 210–220.

- Rochat, P., & Goubet, N. (1995). Development of sitting and reaching in 5 to 6-month-old infants. *Infant Behavior & Development, 18*, 53–68.
- Rosengren, K., Savelsbergh, G. J. P., & Van der Kamp, J. (2003). Development and learning: A TASC-based perspective of the acquisition of perceptual-motor behaviors. *Infant Behavior & Development, 26*, 473–494.
- Savelsbergh, G. J. P., & Van der Kamp, J. (1993). The coordination of infant's reaching, grasping, catching and posture: A natural physical approach. In G. J. P. Savelsbergh (Ed.), *The development of coordination in infancy* (pp.289-317). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Savelsbergh, G. J. P., & Van der Kamp, J. (1994). The effect of body orientation to gravity on early infant reaching. *Journal of Experimental Child Psychology, 58*, 510–528.
- Thelen, E., Corbetta, D., & Spencer, J. P. (1996). Development of reaching during the first year: Role of movement speed. *Human Perception and Performance, 22*, 1059–1076.
- Thelen, E., Corbetta, K. K., Spencer, J. P., Schneider, K., & Zernicke, R. F. (1993). The transition to reaching: Mapping intention and intrinsic dynamics. *Child Development, 64*, 1058–1098.
- Van der Fits, I. B. M., & Hadders-Algra, M. (1998). The development of postural response patterns during reaching in healthy infants. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 22*, 521–526.
- Van Hof, P., Van der Kamp, J., Caljouw, S. R., & Savelsbergh, G. J. P. (2005). The confluence of intrinsic and extrinsic constraints on 3- to 9-month-old infants' catching behavior. *Infant Behavior & Development, 28*, 179–193.
- Van Hof, P., Van der Kamp, J., & Savelsbergh, G. J. P. (2004). The information-based control of interceptive timing: A developmental perspective. In H. Hecht & G. J. P. Savelsbergh (Eds.), *Time-to-contact* (pp. 141–173). North-Holland: Elsevier.
- Van Hof, P., Van der Kamp, J., & Savelsbergh, G. J. P. (2006). Three to eight months infants catching under monocular and binocular vision. *Human Movement Science, 25*, 18–36.
- Von Hofsten, C. (1979). Development of visually directed reaching: the approach phase. *Journal of Human Movement Studies, 5*, 160-178.
- Von Hofsten, C. (1982). Eye-hand coordination in the newborn. *Developmental Psychology, 18*, 450–461.
- Von Hofsten, C. (1991). Structuring of early reaching movements: A longitudinal study. *Journal of Motor Behavior, 23*, 280–292.
- Wimmers, R. H., Savelsbergh, G. J. P., Beek, P. J., & Hopkins, B. (1998). Some evidence for a phase transition in the development of prehension. *Developmental Psychobiology, 32*, 235–248.

Table 1: Frequency of the reaches in supine body orientation in according with the level of skill (less- and more-skilled reachers).

Table 2: Frequency of the reaches and age (in days) for less- and more-skilled reachers at the acquisition of reaching (PT1) and after 1 month of spontaneous practice (PT2).

Table 3: Median for duration (s), deceleration index, straightness index, number of movements units, mean velocity (m/s) and velocity at the touch (m/s), in each body orientation for less- and more-skilled reachers at the acquisition of reaching (PT1) and after 1 (PT2) and 2 months (PT3) of spontaneous practice.

Figure 1: Summary of comparisons and differences within and across groups.

Figure 2A-E: Mean and standard deviation of frequency of reaching for less- and more-skilled reachers at the acquisition of reaching (PT1) and after 1 (PT2) and 2 months (PT3) of spontaneous practice.

Table 1:

<i>Groups</i>	<i>Infants</i>	<i>Frequency in supine</i>
<i>Less-skilled</i>	<i>1</i>	0
	<i>2</i>	0
	<i>4</i>	2
	<i>5</i>	7
	<i>6</i>	4
	<i>9</i>	2
	<i>M</i> <i>(SD)</i>	2.5** (2.665)
<i>More-skilled</i>	<i>3</i>	12
	<i>7</i>	21
	<i>8</i>	15
	<i>10</i>	17
	<i>M</i> <i>(SD)</i>	16.25 (3.775)

Note: M=mean; SD=standard deviation; \*\* p<0.01

Table 2:

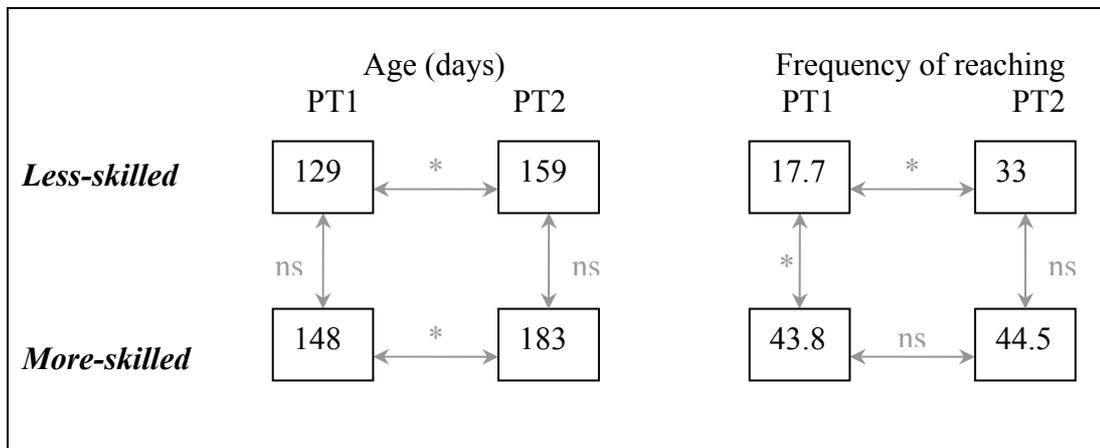
	<i>Infants</i>	<i>Age in PT1</i>	<i>Frequency</i>	<i>Age in PT2</i>	<i>Frequency</i>
<i>Less-skilled</i>	<i>1</i>	124	25	152	47
	<i>2</i>	124	14	152	32
	<i>4</i>	122	18	153	35
	<i>5</i>	153	24	187	37
	<i>6</i>	122	18	157	34
	<i>9</i>	127	7	153	13
	<i>M</i> <i>(SD)</i>	<b>129</b> <b>(12)</b>	<b>17.7</b> <b>(6.7)</b>	<b>159</b> <b>(14)</b>	<b>33</b> <b>(11.1)</b>
<i>More-skilled</i>	<i>3</i>	156	45	184	50
	<i>7</i>	151	52	185	49
	<i>8</i>	154	40	180	36
	<i>10</i>	126	38	182	43
	<i>M</i> <i>(SD)</i>	<b>147</b> <b>(14)</b>	<b>43.8</b> <b>(6.2)</b>	<b>183</b> <b>(2.2)</b>	<b>45</b> <b>(6.5)</b>

Note: M=mean; SD=standard deviation.

Table 3

	PT1						PT2						PT3		
	<i>Supine</i>	<i>Less-skilled Reclined</i>	<i>Seated</i>	<i>Supine</i>	<i>More-skilled Reclined</i>	<i>Seated</i>	<i>Supine</i>	<i>Less-skilled Reclined</i>	<i>Seated</i>	<i>Supine</i>	<i>More-skilled Reclined</i>	<i>Seated</i>	<i>Supine</i>	<i>Less-skilled Reclined</i>	<i>Seated</i>
<i>Temporal</i>															
Duration	1.3	1.333	0.808	1.183	0.933	0.933	1.042	1.15	0.9	1.408	1.108	0.883	1.117	1.25	0.85
Deceleration index (%)	0.513	0.441	0.323	0.592	0.561	0.444	0.451	0.351	0.305	0.651	0.582	0.526	0.484	0.56	0.473
<i>Spatial</i>															
Straightness index	0.763	0.682	0.729	0.666	0.63	0.593	0.81	0.732	0.824	0.684	0.677	0.768	0.815	0.821	0.838
Movement units	4	3	3	4	3	3	3	3	2	4	3	2	3	3	2
<i>Spatio-temporal</i>															
Mean velocity	0.135	0.155	0.221	0.253	0.27	0.227	0.253	0.177	0.266	0.202	0.228	0.236	0.251	0.202	0.297
Velocity at the touch	0.133	0.176	0.22	0.207	0.185	0.286	0.218	0.135	0.219	0.147	0.19	0.197	0.236	0.148	0.206

**Figure 1:**



**Figure 2:**

