

Controle de força e torque isométrico em crianças com DCD

CDD. 20.ed. 152.3
362.3

Márcio Alves de OLIVEIRA*
Jefferson Fagundes LOSS**
Ricardo Demétrio de Souza PETERSEN**

*Curso de Educação Física, Universidade Luterana do Brasil; Department of Kinesiology, University of Maryland - USA.
**Escola de Educação Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Resumo

Este estudo examinou a capacidade da criança com DCD em explorar a dinâmica do sistema sensório-motor em função do tempo. A estrutura da resposta do sistema e a performance foram analisadas em três tarefas manipulativas de regulação de força / torque (pressão digital, prensão digital e torque em prensão digital). Estas três tarefas foram usadas com o intuito de avaliar o comportamento das respostas em relação às restrições impostas pela tarefa. Dezesesseis crianças com percentil abaixo ou igual a 5 no teste Movement ABC formaram o grupo de crianças com DCD com 9,0 anos ($\pm 0,2$ anos), e 16 crianças de desenvolvimento típico e percentil igual ou acima de 35 formaram o segundo grupo com 9,6 anos ($\pm 0,3$ anos). Um osciloscópio foi utilizado para oferecer "feedback" visual e a força aplicada pela criança foi representada por uma linha horizontal que deveria ser sobreposta à linha de referência representativa dos 40% da força e torque isométrico máximo. As crianças com DCD apresentaram dificuldades em explorar a dimensionalidade da resposta do sistema sensório-motor. Uma maior variabilidade e menor irregularidade foram verificadas nas respostas de controle de força e torque, independente das restrições oferecidas pelas tarefas. Os resultados são discutidos em termos de mecanismos centrais responsáveis pela regulação de força.

UNITERMOS: Controle de força; Variabilidade; Irregularidade.

Introdução

A Desordem Coordenativa Desenvolvimental (DCD) caracteriza-se por um prejuízo na coordenação e no controle de movimentos básicos e por um desempenho abaixo do nível esperado em atividades diárias que exigem coordenação motora. Pode manifestar-se por atrasos marcantes em alcançar marcos motores (ex.: sentar, engatinhar, caminhar), propensão a deixar cair coisas, ser desajeitado, demonstrar fraco desempenho nos esportes ou ter caligrafia insatisfatória. Além disso, a DCD não se deve a uma condição médica geral e nem a uma desordem pervasiva do desenvolvimento (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION - DSM-IV, 1994). É observada em torno de 6% das crianças na faixa etária de cinco a 12 anos (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 1994; BRENNER & GILLMAN, 1966; GUBBAY, 1973; SOVIK & MAELAND, 1986).

Habilidades manipulativas são particularmente afetadas em crianças com DCD (POLATAJKO, FOX & MISSIUNA, 1995; WILLOUGHBY & POLATAJKO, 1995). A precisão na manipulação de pequenos objetos requer

coordenação e controle das forças aplicadas, cujas características de peso, forma e superfície de contato dos dedos com o objeto captadas pelo sistema sensorial (visão e receptores cinestésicos), permitem ao sistema nervoso o uso de informações necessárias aos ajustes neuromusculares, produzindo uma resposta motora controlada e ajustada às reais demandas da tarefa. O controle das forças aplicadas é importante para a realização apropriada de várias tarefas manuais e contribui para a precisão e estabilidade dos movimentos dos dedos ao executar movimentos finos.

Estudos anteriores (HILL & WING, 1998, 1999; PEREIRA, LANGDREN, GILLBERG & FORSSBERG, 2001) têm demonstrado que crianças com DCD apresentam dificuldades na coordenação e controle da força de prensão e força de carga inercial e utilizam forças excessivas de prensão. Além disso, quando solicitadas a produzirem uma série de pulsos de força em direção a um alvo, crianças com DCD apresentam maior

variabilidade no controle das respostas de força (LUNDY-EKMAN, IVRY, KEELE & WOOLLACOTT, 1991; PIEK & SKINNER, 1999).

LUNDY-EKMAN et al. (1991) têm argumentado que as dificuldades de controle de força em crianças desajeitadas¹ estão associadas a déficits específicos dos gânglios da base. Esta premissa decorre das similaridades destes resultados com aqueles encontrados em populações que apresentam histórico de prejuízo da estrutura e função destas estruturas neurais. Pacientes com Doença de Parkinson, por exemplo, apresentam déficits similares na capacidade de modular a resposta de força (HALLET & KHOSHBIN, 1980; STELMACH, TEASDALE, PHILLIPS & WORRINGHAM, 1989; WING, 1988). Estes pacientes apresentam uma doença progressiva de condição neurológica debilitante, relacionada com um distúrbio no neurotransmissor dopamina que age nos núcleos da base, especificamente na substância negra e, apesar dessa doença ser primariamente uma desordem motora central, mecanismos periféricos também podem ser comprometidos (JÖBGES, ELEK, ROLLNIK, DENGLER & WOLF, 2002).

Poucos estudos sobre regulação de força em crianças com DCD têm sido realizados e, em geral, evidenciam maior variabilidade na resposta motora dessas crianças. No entanto, não foram encontrados estudos que explorem análises da manutenção do controle de força isométrica de forma constante e contínua. Tarefas isométricas não exigem dos sujeitos ajustes às demandas espaciais e temporais da atividade enquanto processam informações sensoriais multimodais - visual, proprioceptiva e tátil. Ao contrário, nessas tarefas não existem movimentos relacionados à mudança no comprimento dos músculos para produzir informação do fuso neuromuscular como ocorre em condições dinâmicas da tarefa. Na tarefa isométrica, o julgamento perceptivo também deve ser baseado nas informações visuais, proprioceptivas e táteis, ao mesmo tempo em que se produz uma resposta isométrica contínua demandando ajustes de força em função do tempo. No entanto, esta tarefa não requer o controle das propriedades inerciais dos membros, o que torna a regulação da força isométrica mais fácil do que a isotônica (LAZARUS, WITHALL & FRANKS, 1995).

Além de permitir que poucos fatores biomecânicos e ambientais interfiram na performance, tarefas isométricas podem oferecer informações sobre as propriedades organizacionais da resposta do sistema sensório-motor tendo em vista que se caracteriza por uma tarefa tempo-dependente. A análise da resposta motora no domínio do tempo evidencia não somente a variabilidade da resposta de força, mas também características comportamentais

exploratórias do sistema neuromuscular. Permite análises não só do quanto varia, mas também de como o sistema sensório-motor evolui no tempo. Esta capacidade de exploração do sistema sensório-motor em crianças com DCD não foram ainda descritas na literatura e precisa ser investigada.

Nos estudos de controle de força com DCD a variabilidade constatada na resposta motora tem sido utilizada como um índice representativo de sucesso na realização de tarefas, isto é, alta variabilidade tem sido associada a baixa performance. Em contrapartida, baixa variabilidade na resposta motora, tem sido interpretada como um indicador de alta performance e precisão. Este tipo de interpretação origina-se da visão de que a variabilidade na performance resulta de um sinal ou comando no sistema sensório-motor, transmitido através de um canal ruidoso, ou seja, um ruído imposto a um sinal determinístico (FITTS, 1954; SCHMIDT, ZELAZNIK, HAWKINS, FRANK & QUINN, 1979). Assim, variações em torno de um alvo têm sido vistas como falhas na realização da tarefa, como respostas incorretas, inconsistentes ou, freqüentemente, como erros randômicos (SLIFKIN & NEWELL, 1999). Neste sentido, a variabilidade da resposta pode ser identificada como representativa do ruído do sistema sensório-motor, irrelevante e não funcional. Esta visão tem suas raízes nos pressupostos teóricos de controle motor nos quais a redução na variabilidade da resposta motora é atingida por um mecanismo que reduz ou diminui o ruído intrínseco do sistema neuromotor (MEYER, ABRAMS, KORNBLUM, WRIGHT & SMITH, 1988; VAN GALEN & DE JONG, 1995).

A variabilidade também tem sido considerada necessária ao comportamento exploratório e de grande valor adaptativo, permitindo ao organismo captar informações sobre si mesmo, sobre o ambiente e sua capacidade de operar com o ambiente, conforme têm demonstrado alguns estudos sobre flutuações nas respostas de "timing" (BLAKWELL & NEWELL, 1996; GILDEN, THORNTON & MALLON, 1995; YAMADA, 1995a, 1995b), estabilidade postural (COLLINS & DE LUCA, 1993; NEWELL & CORCOS, 1993) e controle de força isométrica (DEUTSCH & NEWELL, 2001; SLIFKIN & NEWELL, 1999, 2000). Estas análises indicam que as flutuações encontradas nas respostas motoras não são randômicas ou consideradas erros, mas ao contrário exibem um certo grau de irregularidade que pode ser atribuído ao processo de adaptação e controle de sistemas complexos, sugerindo que as flutuações na resposta são necessárias ao comportamento controlado e sua diminuição poderia acarretar em prejuízos ao sistema sensório-motor.

Nos estudos de controle de força com crianças com DCD, a distinção entre variabilidade e irregularidade na resposta motora não foi investigada e uma das razões para isso, deve-se aos limites impostos pelas variáveis utilizadas para caracterizar a resposta motora. O uso predominante de estatísticas descritivas resumidas, tal como desvio padrão da resposta de força dos sujeitos, oferece somente uma imagem global e estática do comportamento e negligencia a caracterização da relação de tentativa a tentativa, ou momento a momento do evento realizado em uma série temporal (NEWELL & CORCOS, 1993). O desvio padrão oferece um índice do grau de desvio de um ponto na distribuição dos escores capturando somente a amplitude da flutuação na resposta do sistema, ou seja, sua magnitude. No entanto, estas variações podem ser medidas independentemente da magnitude, avaliando a previsibilidade da resposta do sistema motor ao longo do tempo, como por exemplo, através da Entropia Aproximada (PINCUS, 1991; PINCUS & GOLDBERGER, 1994). Esta medida de previsibilidade refere-se à dinâmica do comportamento e pode revelar indícios

de como a estrutura da resposta motora evolui no tempo, permitindo avaliações da natureza das flutuações na variabilidade da resposta motora.

O presente estudo examinou a capacidade da criança com DCD de explorar a dinâmica do sistema sensório-motor em função do tempo. A estrutura da resposta do sistema motor em relação à performance foi analisada em três tarefas manipulativas distintas. A intenção foi confirmar a premissa de que o prejuízo na performance da criança com DCD dá-se pela incapacidade do sistema sensório-motor de organizar, apropriadamente, sua resposta conforme as demandas impostas pela tarefa. A hipótese formulada foi de que as respostas de força / torque produzidas pelas crianças com DCD apresentariam maior variabilidade e menor irregularidade do que as respostas das crianças sem DCD. Foi esperado também que a mesma relação inversa entre variabilidade e irregularidade fosse encontrada nas três tarefas investigadas, em ambos os grupos. Essa segunda hipótese foi formulada com base na capacidade do sistema sensório-motor de ajustar-se às diferentes restrições independente do tipo de tarefa.

Materiais e métodos

Participantes

A amostra foi constituída de 32 crianças com 9,5 anos ($\pm 0,3$ anos), de ambos os sexos, estudantes de duas escolas estaduais de ensino fundamental, do município de Porto Alegre - RS. A escolha dessa faixa etária baseou-se na referência da AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION - DSM IV (1994), no qual constata-se uma prevalência da DCD em crianças na faixa etária entre cinco aos 12 anos de idade. Os participantes foram subdivididos em dois grupos distintos, um grupo com DCD com 9,0 anos ($\pm 0,2$ anos) e um grupo controle com crianças de desenvolvimento típico com 9,6 anos ($\pm 0,3$ anos), ambos com 16 crianças.

O processo de recrutamento e seleção dos participantes consistiu de uma triagem a partir de 78 crianças, as quais foram incluídas no grupo com DCD quando os seguintes critérios foram confirmados: 1) a informação dos professores e pais sobre nenhum registro de problemas neurológicos, até então, na história de vida da criança; 2) um percentil abaixo de 5% no teste Movement ABC² (HENDERSON & SUGDEN, 1992), apesar de muitos pesquisadores utilizarem 15%, este ponto de corte (5%) é considerado mais conservador e têm sido recomendado por pesquisadores em

estudos recentes (GEUZE, JOGMANS, SCHOEMAKER & SMITS-ENGELSMAN, 2001); 3) a não observância da presença de sinais neurológicos leves típicos, tais como coreia, atetose, sincinesia, disdiadocosincinesia, tremor intencional e dismetria (TOUWEN, 1982), no decorrer da realização do teste de proficiência motora, feita por um profissional de fisioterapia. Como critério de exclusão foram consideradas as dificuldades de coordenação devido a qualquer condição clínica conhecida e observável, tais como paralisia cerebral, hemiplegia ou distrofia muscular, observada, também, pelo fisioterapeuta na avaliação motora.

Uma das características essenciais da criança com DCD é o seu destacado prejuízo no desenvolvimento da coordenação motora, o qual interfere significativamente em suas atividades acadêmicas escolares de vida diária (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION - DSM IV, 1994). Todavia, dificuldades de aprendizagem e déficits de atenção podem estar associados à DCD e, neste estudo, reconhece-se a possibilidade de ocorrência de tal fato, pois não foi utilizado nenhum teste específico com a finalidade de avaliar os déficits associados. As crianças do grupo controle foram selecionadas a partir dos seguintes critérios: 1)

idade pareada com as crianças selecionadas para o grupo com DCD; 2) a informação dos professores e pais sobre nenhum registro de problemas neurológicos, até então, na história de vida da criança; 3) um percentil acima de 35% no teste Movement ABC (HENDERSON & SUGDEN, 1992). Os detalhes sobre a idade e escores obtidos no teste Movement ABC estão resumidos na TABELA 1.

TABELA 1 - Detalhamento dos resultados do teste Movement ABC de ambos grupos investigados.

x = média; dp = desvio padrão

Grupo	Escore MABC		% MABC	
	x	(dp)	x	(dp)
DCD	16,6	(3,9)	3,1	(2,2)
Controle	4,3	(1,6)	52,7	(16,9)

Obteve-se o consentimento do responsável legal das crianças e respeitou-se a recusa em participar do estudo em qualquer momento, independentemente do motivo. A realização deste estudo foi aprovada pelo Comitê de Ética da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

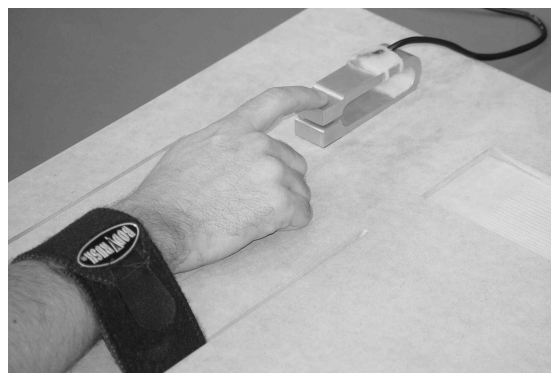
Instrumentos e procedimentos

Foi solicitado que a criança sentasse sobre uma cadeira de altura ajustável e apoiasse seu antebraço sobre a mesa posicionada à sua frente com os equipamentos. Para avaliação da resposta de força utilizou-se uma célula de carga (LUSA & ZARO, 1999) construída em metal (liga de alumínio AL 7075 T6), com dimensões de 100 mm x 7 mm x 25 mm, instrumentada com extensômetros de resistência elétrica (“strain gauges”). Esta célula foi dimensionada para suportar uma carga máxima de 140 N com sensibilidade de 0,01 N. Para a medição de força de pressão digital, a célula foi acoplada a um suporte de madeira, o qual permitiu sua fixação, impedindo o deslizamento da célula sobre a superfície de apoio.

A pressão digital foi realizada em flexão (aprox. 45°) e abdução do ombro (aprox. 45°), com o antebraço apoiado sobre o suporte de madeira, cotovelo flexionado (aprox. 40°), punho em extensão (aprox. 25°), apoiado sobre os dedos em flexão (exceto o indicador) e sobre o polegar em adução. Para evitar um aumento da abdução do ombro no momento de produção de força na tarefa, o antebraço permaneceu contido por uma cinta que fixava o antebraço ao suporte de madeira (FIGURA 1a).

Para a tarefa de preensão digital em pinça, a mesma célula de carga foi usada em suspensão e fixada por

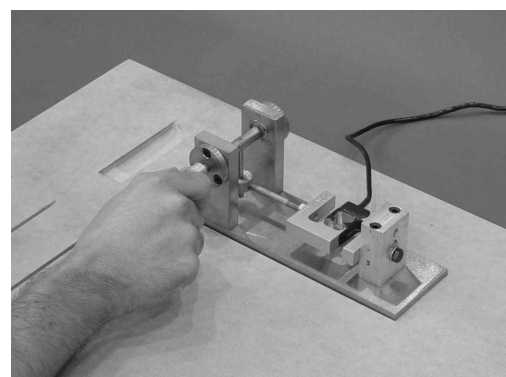
um prendedor adaptado a um pedestal de mesa com altura ajustável. A pressão digital consistiu na flexão/ extensão do indicador na articulação metacarpofalangeana e interfalangeana proximal e distal. A preensão digital em pinça foi executada com apoio do cotovelo sobre a mesa, ombro em abdução e flexão (aprox. 45°), cotovelo flexionado (aprox. 90°), punho flexionado (25°). A preensão digital em pinça consistiu da oponência do polegar ao indicador flexionado na articulação metacarpofalangeana e interfalangeana proximal (FIGURA 1b).



(a)



(b)



(c)

FIGURA 1 - Ilustração das tarefas e sistemas de medição utilizados no estudo: pressão digital (a), preensão digital em pinça (b) e torque em preensão digital (c).

Para a medição do controle de torque em preensão digital foi utilizado um transdutor elaborado e produzido por OLIVEIRA, LOSS, GERTZ e PETERSEN (2002), construído em aço, com uma base de 20 cm de comprimento e 7 cm de largura, sobre a qual dois suportes de 7,5 cm de altura fixam um eixo que transmite o torque aplicado no botão para uma célula de carga comercial (ALFA, modelo S5). O botão utilizado foi confeccionado em alumínio e possui diâmetro de 20 mm. Para a medição do torque em preensão digital o transdutor foi, também, fixado em um suporte de madeira, o qual permitiu maior estabilidade na execução da tarefa sem interferir na aquisição dos dados.

O torque em preensão digital foi realizado sobre o botão do transdutor de torque também com apoio do cotovelo sobre o suporte de madeira. O ombro foi mantido em abdução e flexão (aprox. 45°), o cotovelo em flexão (aprox. 40°) mantendo o antebraço quase paralelo à mesa, porém sem apoiá-lo, o punho em extensão (aprox. 25°) em desvio ulnar (aprox. 30°). A preensão digital consistiu da oponência do polegar ao indicador flexionado na articulação metacarpofalangeana e interfalangeana proximal e o torque aplicado no botão de 20 mm, gerado pela supinação (no sentido horário para os destros e anti-horário para os sinistros) foi realizado em isometria (FIGURA 1c).

“Feedback” visual foi fornecido aos sujeitos sobre o nível de força / torque exercido na célula de carga ou transdutor. Para este fim utilizou-se um osciloscópio analógico MINIPA, modelo MO-1221S, de dois canais, com faixa de frequência 20 MHz, sensibilidade máxima de 1mV/DIV e tempo máximo de varredura de 20 ns/DIV. Através deste “feedback” visual a criança foi solicitada a sobrepor uma linha (sinal de força / torque) à outra estabelecida como referência no osciloscópio (40% da força / torque máximo).

Todos os sujeitos foram testados em duas situações experimentais:

- a) **Força / torque isométrico máximo** - a criança foi orientada a produzir seu nível máximo de força / torque no equipamento por, aproximadamente, dois segundos.
- b) **Força / torque isométrico submáximo**: a criança foi incentivada a manter, durante 20 segundos (20 s), 40% da força / torque máximo realizado anteriormente.

Inicialmente, as crianças realizaram duas tentativas de prática visando a familiarização com o equipamento e tarefa. Nestas tentativas preliminares não foi solicitada a manutenção do controle de força / torque em

isometria no tempo total estabelecido para testagem (20 s), evitando a fadiga física e o desinteresse por parte da criança. Em seguida, a terceira tentativa executada foi considerada válida, para fins de coleta, caso as condições mínimas estabelecidas para a situação experimental tivessem sido satisfeitas. Quando necessário, foram realizadas novas execuções para um melhor esclarecimento da tarefa. Utilizou-se de procedimento randômico entre as tarefas aplicadas.

Para determinação do nível relativo de força / torque (40%), considerou-se que o desvio padrão da resposta de força aumenta exponencialmente com o aumento da força pré-estabelecida (SLIFKIN & NEWELL, 1998, 2000). Além disso, no estudo piloto realizado, percebeu-se que as crianças apresentaram dificuldades em produzir respostas de controle de força durante os 20 s a 50% da força máxima, motivo pelo qual se estabeleceu o nível de 40% da força máxima neste protocolo.

Os sinais elétricos emitidos da célula de carga e do transdutor de torque foram transmitidos para um condicionador de sinais ENTRAN MSC6, com módulos MSC-A1, utilizando alimentação de ponte de 1 V e ganho de 1000 vezes. O sinal amplificado foi convertido por uma placa analógico-digital de 16 canais (Dataq Instruments, Inc. Akron, USA), e os dados, amostrados a 500 Hz, foram adquiridos pelo “software” ACODAS e armazenados em um computador modelo Pentium 200.

Análise dos dados

Os sinais adquiridos foram processados no “software” de aquisição e análise de dados SAD32 (versão, 2.61.07mp, 2002) e suavizados com um filtro do tipo passa baixa Butherworth de nona ordem, com frequência de corte de 30 Hz. Posteriormente, as curvas foram convertidas a partir das equações definidas no processo de calibração da célula de carga e do transdutor de torque, transformando os valores adquiridos de tensão elétrica (volts) para força (N) e torque (Nm), respectivamente.

Para análise da variabilidade, foi considerado o platô de produção da resposta de força isométrica, desconsiderando a fase transiente do sinal. Foram omitidos os três segundos iniciais das tentativas e o ponto inicial da produção de força foi definido utilizando o valor da média somada a três vezes o desvio padrão da amplitude da linha de base do sinal. Para fins de análise, foram utilizados os 15 segundos consecutivos do platô de força (FIGURA 2) a partir dos quais foram extraídas as variáveis utilizadas. O cálculo do coeficiente de variação

(desvio padrão / média) serviu como índice da performance, ou seja, a razão entre a variação representativa das flutuações da resposta, ponderada

pelo valor médio da força / torque realizado pelo sujeito quando solicitado a manter 40% de força e torque máximos.

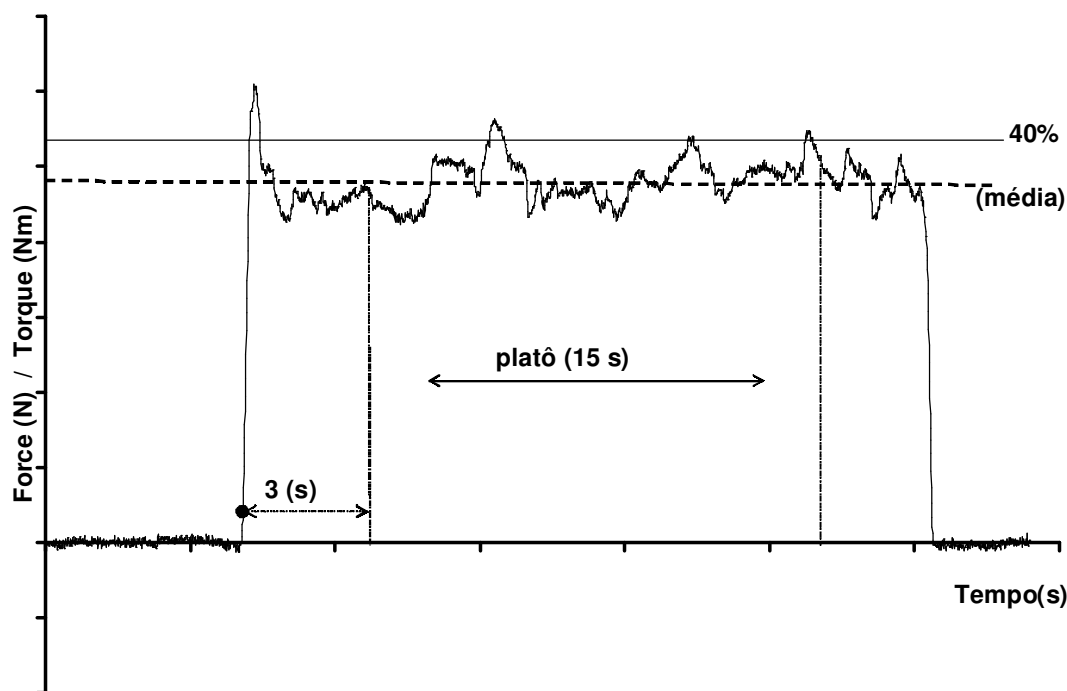


FIGURA 2 - Representação gráfica dos critérios utilizados para a análise dos sinais de força e torque adquiridos a partir dos sistemas de medição utilizados.

Para análise da irregularidade da estrutura da resposta de força / torque, optou-se por uma análise no domínio do tempo e, para tanto, utilizou-se a função Entropia Aproximada - $EnAp^{m,r}$ (PINCUS, 1991). Este tipo de análise examina a estrutura seqüencial do sinal e mede sua regularidade e complexidade no domínio do tempo. Ao contrário da média e desvio padrão que oferecem informações sobre a magnitude do sinal, a $EnAp^{m,r}$ oferece informações de como o sinal muda em função do tempo (PINCUS & GOLDBERGER, 1994). Esta medida utiliza um procedimento de probabilidade condicional para quantificar a estrutura seqüencial ou regularidade com que o sinal evolui no tempo, determinando o quanto o sinal pode exibir padrões repetidos em sua evolução através do tempo, em outras palavras, sua previsibilidade. O valor da $EnAp^{m,r}$ varia de 0 a 2 onde sinais altamente regulares e previsíveis que contêm uma ordem através do tempo, como por exemplo uma senóide, terão valores próximos a zero. Ao contrário, valores próximos de 2 poderão ser constatados quando analisados sinais altamente irregulares, randômicos e imprevisíveis através do tempo, assim como num ruído branco Gaussiano. A $EnAp^{m,r}$ foi calculada

através de uma rotina de programação elaborada no software MATLAB® (MATCHWORKS, 2000). O valor da $EnAp^{m,r}$ foi calculada para o sinal de força/torque produzido usando um comprimento do período $m = 2$ e um filtro³ com largura de $r = 0,2$.

Tratamento estatístico

Verificada a normalidade dos dados a partir do teste Kolmogorov-Smirnov, análise de variância (ANOVA 2 x 3) foi realizada considerando os dois grupos investigados e as três tarefas como fatores. As medidas de força média relativa, variabilidade e irregularidade foram usadas como variáveis dependentes. Quando níveis de significância foram identificados testes "post hoc" (Tukey) foram realizadas para comparação e identificação das diferenças relacionadas aos efeitos dos fatores. Coeficientes de correlação linear de Pearson foram calculados para identificar a relação entre variabilidade e irregularidade, em ambos os grupo e nas três tarefas investigadas. Todas as análises estatísticas foram testadas com nível de significância $\alpha = 0,05$. Para isto utilizou-se do programa SPSS (SPSS para Windows - versão 12.0. SPSS, Inc.).

Resultados

Os resultados deste estudo demonstraram níveis similares de variabilidade e irregularidade nas tarefas de pressão digital e prensão digital em pinça. Entretanto crianças com DCD foram mais variáveis e menos irregulares na tarefa de controle de torque em prensão digital do que as crianças com desenvolvimento típico. A ANOVA indicou efeito do fator grupo, $F(2,1) = 3,199$ $p < 0,05$ e do fator tarefa, $F(2,1) = 13,570$ $p < 0,05$, e nenhuma interação entre os fatores.

Quando analisados os valores médios de força relativa (FIGURA 3), verificou-se que as crianças, de ambos os grupos, apresentaram níveis de força / torque médio abaixo do que foi solicitado no protocolo

(40%). Quando observado os respectivos desvios-padrão verificou-se uma alta variabilidade intragrupo, motivo pelo qual os valores de força média produzida foram utilizados como fator de normalização na análise da variação da amplitude das respostas de força. Este procedimento foi adotado para evitar uma interpretação equivocada dos níveis de variabilidade, uma vez que um nível menor de produção de força / torque poderia levar a uma diminuição da amplitude da resposta de força / torque. Por esta razão, o coeficiente de variabilidade (CV = desvio padrão / média) foi utilizado como índice representativo da performance dos sujeitos.

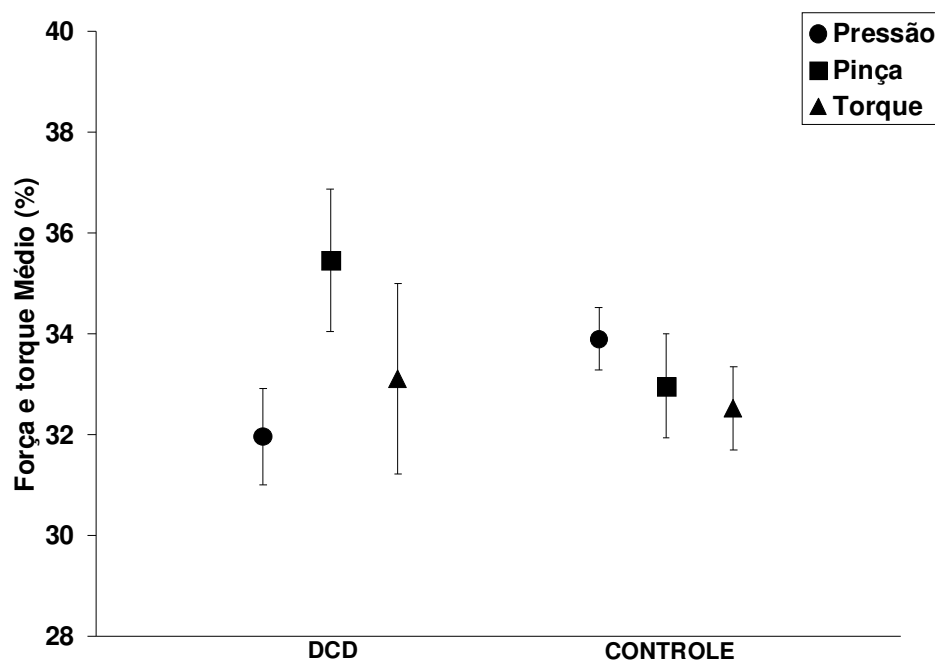


FIGURA 3 - Valores médios e respectivos erros padrão da força relativa das três tarefas em cada um dos grupos investigados (DCD e Controle).

Variabilidade da resposta de força

Os valores médios correspondentes ao coeficiente de variação comparados entre os grupos, em cada uma das tarefas, são mostrados na FIGURA 4. De acordo com a análise univariada, o efeito do fator grupo ocorreu porque na tarefa de torque em prensão digital, o grupo com DCD apresentou maior variabilidade do

que o grupo controle [$F(1,30) = 11,357$; $p < 0,05$]. Em relação ao fator tarefa, testes “post hoc” indicaram que o grupo controle apresentou uma maior variabilidade no controle de força do que no controle de torque, ou seja, a tarefa de torque em prensão digital diferiu [$F(2,45) = 6,992$; $p < 0,05$] da tarefa de pressão digital ($p < 0,05$) e da tarefa de prensão digital em pinça ($p < 0,05$).

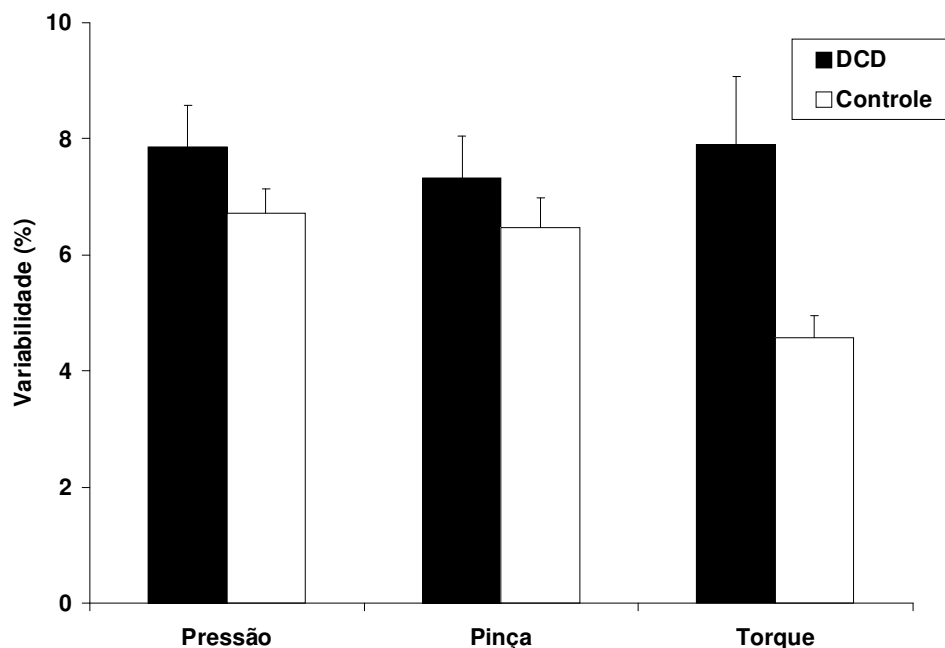


FIGURA 4 - Valores médios e respectivos erros padrão do coeficiente de variabilidade (CV) de cada grupo nas tarefas investigadas.

Irregularidade da resposta de força

A comparação dos valores de $EnAp^{m,r}$ entre os diferentes grupos, em cada uma das tarefas, está representada na FIGURA 5. O grupo controle apresentou maior irregularidade do que o grupo com DCD, $[F(1,30) = 10,267; p < 0,05]$. Em ambos os

grupos o índice de $EnAp^{m,r}$ da resposta de força / torque diferiu entre as tarefas $[F(2,45) = 19,323; p < 0,05]$ e $[F(2,45) = 18,565; p < 0,05]$, respectivamente. Ambos os grupos apresentaram um índice significativamente menor de irregularidade na tarefa de torque em prensão digital do que nas demais tarefas investigadas ($p < 0,05$).

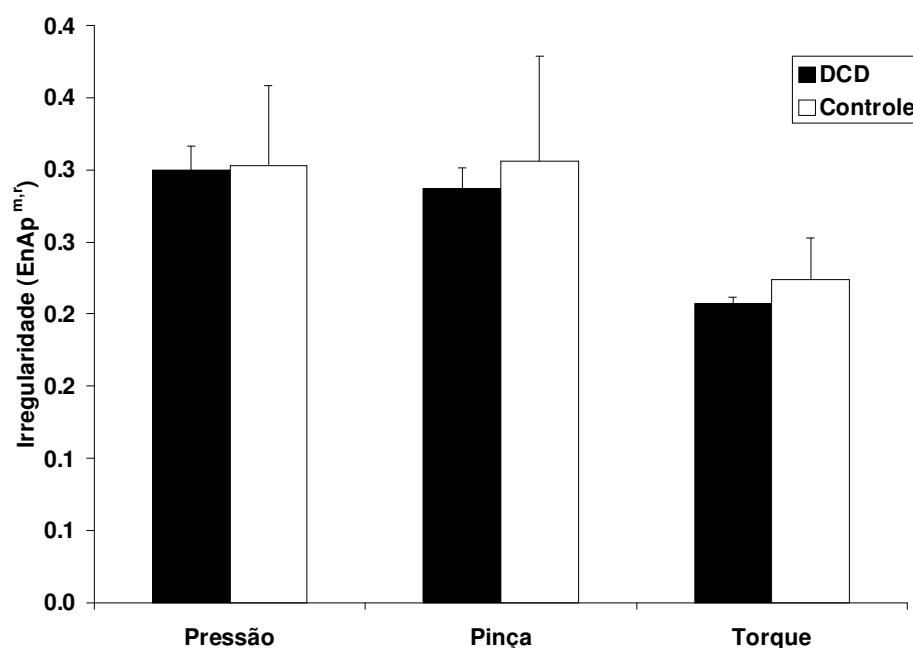


FIGURA 5 - Valores médios e respectivos erros padrão da irregularidade ($EnAp^{m,r}$) de cada grupo nas três tarefas investigadas.

Uma relação inversa entre variabilidade e irregularidade foi identificada para ambos os grupos em todas as três tarefas investigadas, conforme demonstrado na FIGURA 6. A análise de correlação entre as variáveis dependentes

evidenciaram níveis significativos nas tarefas de pressão digital [$r = -0,716$ ($p < 0,05$)], preensão digital em pinça [$r = -0,795$ ($p < 0,05$)] e na tarefa de torque em preensão digital [$r = -0,828$ ($p < 0,05$)].

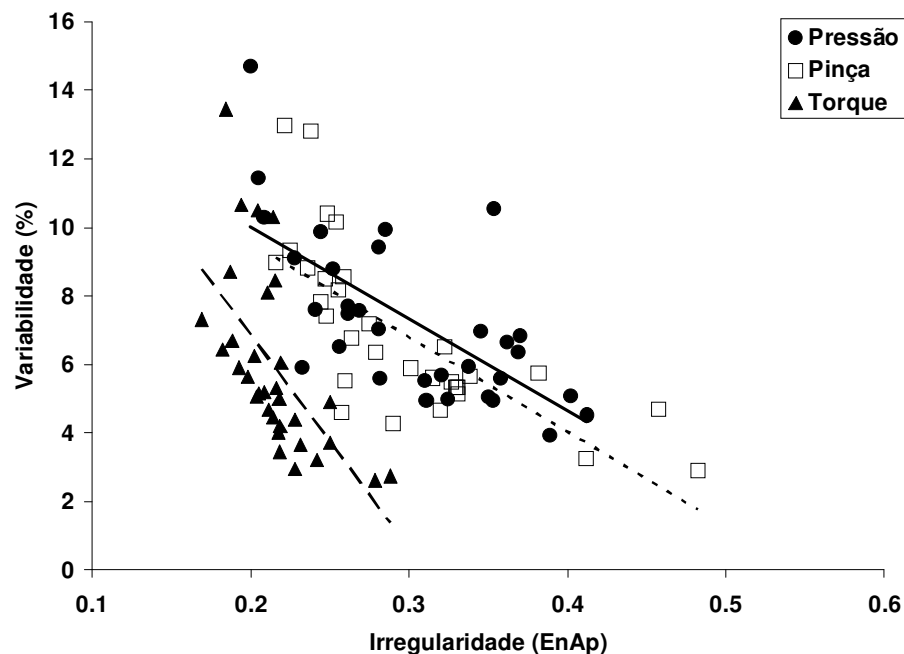


FIGURA 6 - Correlação entre os índices de variabilidade (CV) e irregularidade (EnAp^{ma}) dos grupos nas três tarefas investigadas.

Discussão

Este estudo visou examinar a capacidade da criança com DCD de explorar a dinâmica do sistema sensorio-motor em função do tempo. Para tanto, utilizou-se da análise de três tarefas manipulativas de controle de força / torque isométrico e testou-se também a capacidade da criança com DCD de adaptar-se às diferentes restrições impostas pela tarefa.

As crianças com DCD, em comparação com as crianças de desenvolvimento típico e idades relacionadas tenderam a apresentar índices maiores de variabilidade e menores de irregularidade em todas as tarefas investigadas, independentemente das restrições distintas oferecidas pela tarefa. Apesar de que somente na tarefa de torque diferenças significativas entre os

grupos foram constatadas, a mesma relação foi observada nas tarefas de pressão digital e preensão digital em pinça. A FIGURA 7 apresenta curvas de resposta de força / torque de um sujeito de cada grupo na três tarefas investigadas e ilustra um exemplo de que os sujeitos do grupo com DCD demonstraram níveis maiores flutuações em amplitude do que os sujeitos do grupo controle em todas as tarefas. A diferença constatada entre as tarefas investigadas pode estar relacionada ao fato de que a tarefa de torque requer o controle de um número maior de graus de liberdade, envolve mais de forças externas resultantes aplicadas no transdutor e demanda maiores ajustamentos neuromusculares do que as demais investigadas.

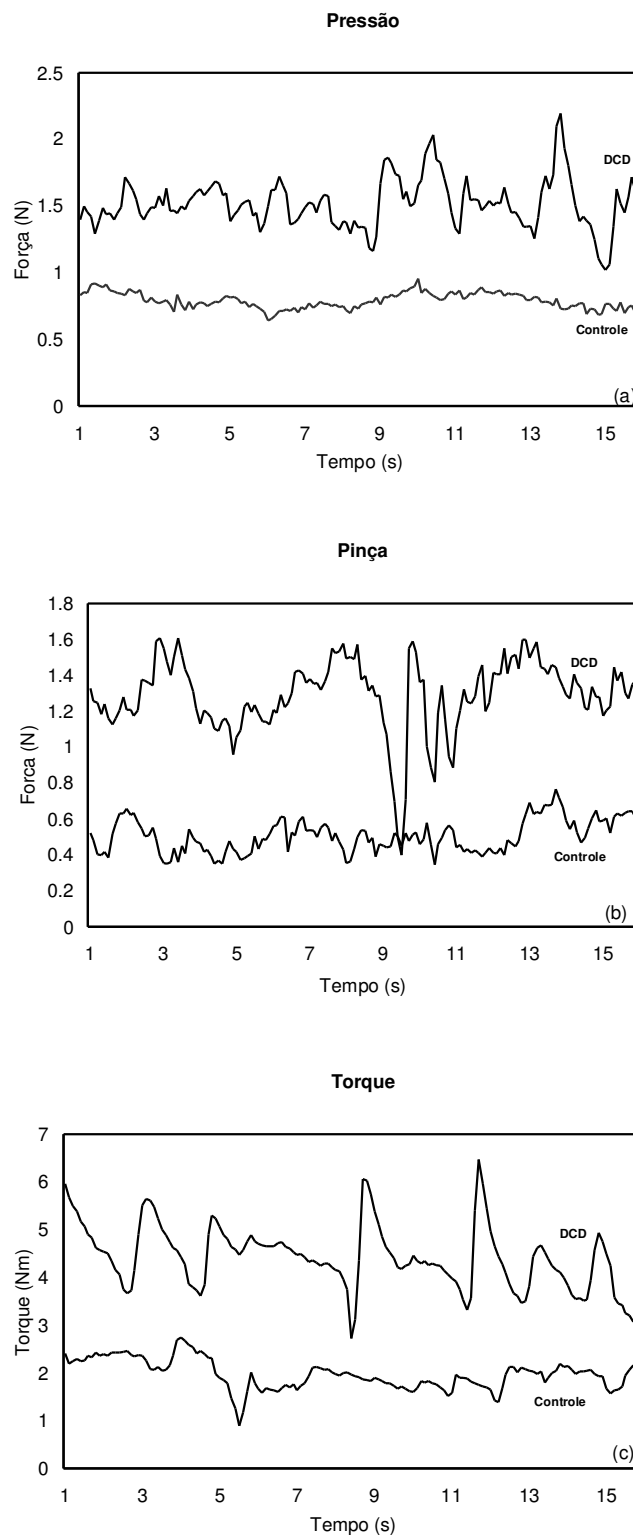


FIGURA 7 - Sinais ilustrativos das respostas de força de pressão digital (a), prensão digital com pinça (b) e torque em prensão digital (c) produzidos por um dos sujeitos de cada grupo (DCD e Controle).

Os resultados sugerem que as dificuldades da criança com DCD podem não estar relacionadas às demandas específicas da tarefa, e sim aos mecanismos internos e subjacentes ao seu processo desenvolvimental.

Estes achados convergem com os resultados de PEREIRA et al. (2001) que focalizaram a capacidade da criança de adaptar-se a situações adversas relacionadas à tarefa. Os autores investigaram os mecanismos de

adaptação da força de preensão em diferentes condições de superfície dedo-objeto. Vinte crianças com DCD, com 10 anos de idade, fizeram parte da amostra e os resultados permitiram a constatação de que as crianças com DCD usam forças excessivas de preensão quando levantam os objetos, mas foram capazes de adaptar suas forças em resposta às diferentes superfícies dedo-objeto. Isto sugere também que a criança com DCD pode não apresentar dificuldades relacionadas às restrições da tarefa e limitações funcionais de adaptação às restrições ambientais. HILL e WING (1998, 1999) também argumentam que a criança com DCD possui incapacidade de usar restrições ambientais (força gravitacional) em sua vantagem. Eles investigaram o movimento de preensão digital em pinça, associado à realização de movimentos em direções pré-estabelecidas, e as crianças com DCD apresentaram coordenação anormal entre força de preensão e força de carga inercial, em movimentos verticais para baixo. Os autores afirmam que isto ocorreu devido à dificuldade de sincronizar o início da aceleração do movimento com as mudanças na força de preensão.

No que se refere aos resultados sobre a irregularidade no controle de força, não foram encontrados estudos preliminares que tenham utilizado este tipo de análise em crianças com DCD. Todavia, a relação inversa entre variabilidade e irregularidade na resposta do sinal de força é consistente com os achados de DEUTCH e NEWELL (2001, 2002) que investigaram melhorias relacionadas com a idade na performance motora das crianças na produção de força isométrica em tarefa manipulativas de pressão digital e pinça, respectivamente. Em ambos os estudos, crianças de seis, oito e 10 anos de idade e um grupo de jovens adultos, foram solicitados a manter o controle de força isométrica em níveis distintos de força relativa, com e sem "feedback". Os resultados destes estudos revelaram que a performance, avaliada através das flutuações na amplitude do sinal da resposta de força, melhorou com o aumento da idade. O sinal da resposta de força exibiu uma maior irregularidade quando mensurada através do cálculo da Entropia Aproximada. Estes achados sugerem a existência de uma tendência desenvolvimental no grau pelo qual a resposta motora do sistema neuromuscular é organizada, respondendo de forma mais irregular à medida que a idade avança.

Neste estudo, as crianças com DCD apresentaram respostas motoras mais regulares do que as crianças do grupo controle. Estas respostas são típicas de crianças mais jovens, o que pode sugerir a interpretação

de que as crianças com DCD podem apresentar um déficit desenvolvimental na capacidade do sistema de organizar suas respostas de controle motor. Respostas irregulares no controle de força, mensuradas pela EnAp^{mt}, podem ser representativas de um comportamento mais exploratório do sistema sensorio-motor e mais imprevisíveis no domínio do tempo. A regularidade, contudo, resulta de uma resposta mais previsível do sistema e representativa de sua incapacidade de explorar a dinâmica do sistema sensorio motor em função do tempo.

Além disso, conforme a segunda hipótese formulada deste estudo, a mesma relação entre variabilidade e irregularidade foi encontrada nas três tarefas, em ambos os grupos apesar desta diferença ser significativa somente na tarefa de controle de torque. Isto reflete a facilidade ou dificuldade do sistema sensorio-motor de se ajustar às demandas da tarefa, independente do tipo de restrições por ela oferecidas e reforça a idéia de que tais déficits possam estar relacionados às restrições do organismo típicas da criança com DCD.

Neste sentido, PIEK e SKINNER (1999) têm argumentado que as crianças com DCD apresentam déficits nas características mecânicas do movimento, ou seja, no estágio de implementação das respostas de controle motor. Os autores investigaram o planejamento e execução motora em uma seqüência de batidas dos dedos (pressão digital) com 30 crianças de 10 anos de idade, divididas em dois grupos, com e sem problemas de coordenação. Neste estudo foram analisados o controle de força e o "timing", e as crianças desajeitadas apresentaram um controle motor mais variável e inconsistente.

Diferentemente, LUNDY-EKMAN et al. (1991) argumentam que os déficits dessas crianças estão associados a problemas de organização e planejamento do movimento. Fundamentaram-se na hipótese de que força e "timing" são componentes separados do controle motor (KEELE, IVRY & POKORNY, 1987), e estão associados a sistemas neurais distintos: gânglios da base e cerebelo, respectivamente (IVRY, 1986; IVRY & KEELE, 1989). Os resultados demonstraram que as crianças desajeitadas com sinais de gânglios da base foram mais variáveis na resposta do controle de força e aquelas com sinais cerebelares foram mais variáveis em ambos componentes força e "timing". Isto evidencia o fato de que a criança desajeitada, independente do subgrupo, demonstra maior variabilidade na resposta de força, no entanto, não responde a dúvida se esta variabilidade está, exclusivamente, associada aos sinais neurológicos leves de gânglio basal.

Sobre o papel das estruturas neurais na organização da resposta do sistema motor, estudos anteriores também têm estabelecido uma estreita relação entre a regulação do controle de força e funções específicas dos gânglios da base. Estudos envolvendo animais (HORACK & ANDERSON, 1984) têm demonstrado evidências dessas relações e alguns estudos envolvendo pacientes com Doença de Parkinson, encontraram déficits na capacidade de produção de força (STELMACH & WORRINGHAM, 1988; STELMACH et al. 1989; WING, 1988). Além disso, esses pacientes têm demonstrado níveis menores de irregularidade no controle de força isométrica (VAILLANCOURT, SLIFKIN & NEWELL, 2001), assim como as crianças com DCD deste estudo apresentaram na tarefa de controle de torque.

Apesar das crianças com DCD não apresentarem sinais típicos e similares aos da Doença de

Parkinson, tais como tremor e hipocinesia, estes pacientes portadores de Doença de Parkinson têm demonstrado aumentada variabilidade e regularidade nas respostas de força. Isto pode sugerir que um equilíbrio entre os diferentes núcleos dos gânglios da base pode ser necessário para o controle apropriado de força. Um desajuste neste equilíbrio, como evidenciado nos pacientes com Parkinson, poderia resultar na alteração dessas respostas, mas os mecanismos subjacentes entre DCD e Parkinson são, reconhecidamente, distintos.

Mesmo que não se possa estabelecer uma relação causal direta entre tais evidências ou afirmar que prejuízos nestas estruturas neurais justificam as dificuldades de coordenação e controle motor da criança com DCD, tais resultados podem sugerir algum grau de especificidade, em termos de uma disfunção neurológica subjacente à criança com DCD (IVRY, 2003).

Conclusão

Em resumo, conclui-se que a maior variabilidade e menor irregularidade identificada no grupo de crianças com DCD estão relacionados a uma incapacidade da criança de explorar a dimensionalidade da resposta motora, resultando em uma resposta mais previsível, típica de crianças mais jovens.

As análises de controle de força isométrico proveram novas informações sobre o controle de força em crianças com DCD e permitiram descrições sobre como o sistema sensorio-motor dessas crianças explora e ajusta às demandas típicas de uma tarefa estática e tempo-dependente.

Além disso, os resultados encontrados convergem à premissa de que os prejuízos na regulação da força e torque de crianças com DCD podem estar associados a déficits computacionais dos gânglios da base, no entanto, não permite afirmar dependência específica desta estrutura neural, visto que estudos anteriores com pacientes com déficits cerebelares também encontraram déficits no controle de força.

Destaca-se, finalmente, que estudos sobre regulação de força em crianças com DCD permitem perspectivas fecundas de análise e oferecem mais subsídios para a discussão sobre os mecanismos subjacentes relacionados à DCD.

Abstract

Isometric force and torque control in children with DCD

This study examined the ability of DCD children to explore the dynamics of the motor sensory system in the time domain. The structure of the system output and the performance were analyzed in three different manipulative force regulation tasks (digital press, pinch press, and torque during pinch press). These three tasks were used to evaluate the output behavior related to different task constraints. Sixteen children with Movement ABC scores at or below the 5th percentile formed the DCD group with 9.0 (\pm 0.2 years) and sixteen typically developing children (above the 35th percentile) formed the second group with 9.6 (\pm 0.3 years). An oscilloscope provided visual feedback during the task and the child's applied force was represented by a horizontal line that matched a reference line at 40% of the maximum isometric force. Children with DCD showed difficulties in exploring the output dimensionality of the

motor sensory system. More variability and less irregularity were identified in the force and torque control responses independently of the task constraints. The results are discussed in terms of the central mechanisms responsible for force regulation.

UNITERMS: Force control; Variability; Irregularity.

Notas

1. O termo desajeitado deriva da tradução da palavra “clumsy” do inglês, utilizada na literatura por diferentes autores em inúmeras publicações antes do consenso do uso do termo DCD.
2. O teste Movement ABC é um instrumento de avaliação normativa, especificamente designado para identificar crianças com prejuízos motores e inclui tarefas de destreza manual, habilidades com bola e de equilíbrio (estático e dinâmico). Atualmente, este teste é considerado o “padrão ouro” para identificação de crianças com DCD. Além disso, o uso desse teste é recomendado como instrumento de avaliação preferido em uma revisão de critérios de diagnóstico para DCD, realizado por GEUZE et al. (2001).
3. O termo filtro foi traduzido literalmente do artigo original e refere-se ao segundo parâmetro da EnAp^{mt}, equivalente a 20% do desvio padrão.

Referências

- AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. **Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM IV**. Washington: APA, 1994.
- BLAKWELL, J.R.; NEWELL, K.M. The informational role of knowledge results in motor learning. **Acta Psychologica**, Amsterdam, v.92, p.119-29, 1996.
- BRENNER, M.W.; GILLMAN, S. Visuomotor ability in school children: a survey. **Developmental Medicine and Child Neurology**, London, v.8, p.686-703, 1966.
- COLLINS, J.J.; DE LUCA, C.J. Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories. **Experimental Brain Research**, Berlin, v.95, p.308-18, 1993.
- DEUTSCH, K.M.; NEWELL, K.M. Age differences in noise and variability of isometric force production **Journal of Experimental Child Psychology**, New York, v.80, p.392-408, 2001.
- _____. Children's coordination of force output in a pinch grip task. **Developmental Psychobiology**, New York, v.41, p.253-64, 2002.
- FITTS, P.M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. **Journal of Experimental Psychology**, New York, v.47, p.381-91, 1954.
- GEUZE, R.H.; JOGMANS, M.J.; SCHOEMAKER, M.M.; SMITS-ENGELSMAN, B.C.M. Clinical and research diagnostic criteria for developmental coordination disorder: a review and discussion. **Human Movement Science**, Amsterdam, v.20, p.7-47, 2001.
- GILDEN, D.L.; THORNTON, T.; MALLON, M.W. 1/f noise in human cognition. **Science**, Washington, v.267, p.1837-9, 1995.
- GUBBAY, S. S. A standardized test battery for the assessment of clumsy children. **Proceedings of the Australian Association of Neurologists**, St. Lucia, v.10, p.19-25, 1973.
- HALLET, M.; KHOSHBIN, S. A physiological mechanism of bradykinesia. **Brain**, London, v.103, p.301-14, 1980.
- HENDERSON, S.E.; SUGDEN, D.A. Manual of movement assessment battery for children. London: The Psychological Corporation, 1992.
- HILL, E.L.; WING, A.M. Developmental disorders and the use of grip force to compensate for inertial forces during voluntary movement: In: CONNOLLY, K.C. (Ed.). **The Psychobiology of the hand**. London: Mac Keith Press, 1998. p. 199-212.
- _____. Coordination of grip force and load force in developmental coordination disorder: a case study. **Neurocase**, Oxford, v.5, p.537-44, 1999.

- HORAK, F.B.; ANDERSON, M.E. Influence of globus pallidus on arm movements in monkeys: II. Effects of stimulation. **Journal of Neurophysiology**, Washington, v.52, p.305-22, 1984.
- IVRY, R.B. Force and timing components of the motor programs. **Journal of Motor Behavior**, Washington, v.18, p.449-74, 1986.
- _____. Cerebellar involvement in clumsiness and other developmental disorders. **Neural Plasticity**, Pattington, v.10, p.143-55, 2003.
- IVRY, R.; KEELE, S.W. Timing functions of the cerebellum. **Journal of Cognitive Neuroscience**, Cambridge, v.1, p.136-52, 1989.
- JÖBGES, E.M.; ELEK, J.; ROLLNIK, J.D.; DENGLER, R.; WOLF, W. Vibratory proprioceptive stimulation affects Parkinsonian tremor. **Parkinsonism & Related Disorders**, Kidlington, v.8, p.171-6, 2002.
- KEELE, S.W.; IVRY, R.B.; POKORNY, R.A. Force control and its relation to timing. **Journal of Motor Behavior**, Washington, v.19, p.96-114, 1987.
- LAZARUS, J.C.; WITHALL, J.; FRANKS, C.A. Isometric force regulation in children. **Journal of Experimental Child Psychology**, New York, v.60, p.245-60, 1995.
- LUNDY-EKMAN, L.; IVRY, R.; KEELE, S.; WOOLLACOTT, M. Timing and force control in clumsy children. **Journal of Cognitive Neuroscience**, Cambridge, v.13, n.4, p.367-76, 1991.
- LUSA, I. F.; ZARO, M. A.. Desenvolvimento de uma célula de carga para medir força na pega em forma de pinça. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 8., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UDESC, 1999, p.393-6.
- MATHWORKS, Inc. Matlab 6.0 [Computer Software] Natick: [s.ed.], 2000.
- MEYER, D.E.; ABRAMS, R.A.; KORNBLUM, S.; WRIGHT, C.E.; SMITH, J.E.K. Optimality in human motor performance: ideal control of rapid aimed movements. **Psychological Review**, Washington, v.95, p.340-70, 1988.
- NEWELL, K.M.; CORCOS, D.M. Issues in variability and motor control. In: NEWELL, K.M.; CORCOS, D.M. (Eds.). **Variability and motor control**. Champaign: Human Kinetics, 1993.
- OLIVEIRA, M.A.; LOSS, J.F.; GERTZ, L.C.; PETERSEN, R.D.S. Transducer for measuring torque control In: BIENNIAL CONGRESS WAITRO - CONGRESSO INTERNACIONAL DAS INSTITUIÇÕES DE PESQUISA TECNOLÓGICA, 2002, Porto Alegre. **Livro de Resumos...** Porto Alegre: [s.ed.], 2002. p.25.
- PEREIRA, H.S.; LANGDREN, M.; GILLBERG C.; FORSSBERG, H. Parametric control of fingertip forces during precision grip lifts in children with DCD (developmental coordination disorder) and DAMP (deficits in attention motor control and perception), **Neuropsychologia**, Oxford, v.39, p.478-88, 2001.
- PIEK, J.P.; SKINNER, R.A. Timing and force control during a sequential tapping task in children with and without motor coordination problems. **Journal of the International Neuropsychological Society**, New York, v.5, p.320-9, 1999.
- PINCUS, S.M. Approximate entropy as a measure of system complexity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v.8, p.2297-2301, 1991.
- PINCUS, S.M.; GOLDBERGER, A.L. Physiological time-series analysis: what does regularity quantify? **American Journal of Physiology**, Washington, v.266, p.h1643-56, 1994.
- POLATAJKO, H.J.; FOX, M.; MISSIUNA C. An international consensus on children with developmental coordination disorder. **American Journal of Occupational Therapy**, Boston, v.62, p.3-6, 1995.
- SAD32p [(versão, 2.61.07mp), 2002]. Porto Alegre: Laboratório de Medições Mecânica, Escola de engenharia UFRGS. Disponível em: <www.ufrgs.br/lmm>. Acesso em: 08 mar. 2002.
- SCHMIDT, R.A.; ZELAZNIK, H.N.; HAWKINS, B.; FRANK, J.S.; QUINN, J.T. Motor-output variability: a theory for the accuracy of rapid motor acts. **Psychological Review**, Washington, v.86, p.415-51, 1979.
- SLIFKIN, A.B.; NEWELL, K.M. Is variability in human performance a reflection os system noise? **Current Directions in Psychological Science**, v.7, p.170-7, 1998.
- _____. Noise, information transmission, and force variability. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Washington, v.25, n.3, p.837-51, 1999.
- _____. Variability and noise in continuous force production. **Journal of Motor Behavior**, Washington, v.32, n.32, p.141-50, 2000.
- SOVIK, N.; MAELAND, A.F. Children with motor problems. **Scandinavian Journal of Educational Research**, v.30, p.9-53, 1986.
- STELMACH, G.E.; TEASDALE, N.; PHILLIPS, J.; WORRINGHAM, C.J. Force production characteristics in Parkinson's disease. **Experimental Brain Research**, Berlin, v.76, p.165-72, 1989.
- STELMACH, G.E.; WORRINGHAM, C.J. The preparation and production of isometric force in Parkinson's disease. **Neuropsychologia**, Oxford, v.26, p.93-103, 1988.

- TOUWEN, B.C.L. **Exame da criança com disfunção cerebral mínima**. 2.ed. Barueri: Manole, 1982.
- VAINLLANCOURT, D.E.; SLIFKIN, A.B.; NEWELL, K.M. Regularity of force tremor in Parkinson's disease. **Clinical Neurophysiology**, v.112, p.1594-1603, 2001.
- VAN GALEN, G.P.; DE JONG, W.P. Fitt's law as the outcome of a dynamic noise filtering model of motor control. **Human Movement Science**, Amsterdam, v.14, p.539-71, 1995.
- WILLOUGHBY, C.; POLATAJKO, H.J. Motor problems inc children with developmental coordination disorder: review of the literature. **American Journal of Occupational Therapy**, Boston, v.49 p.787-94, 1995.
- WING, A.M. A comparison of the rate of pinch force increases and decreases in Parkinsonian bradykinesia. **Neuropsychologia**, Oxford, v.26, p.479-82, 1988.
- YAMADA, N. Chaotic swaying of the upright posture. **Human Movement Science**, Amsterdam, v.14, p.711-26, 1995a.
- _____. Nature of variability in rhythmical movement. **Human Movement Science**, Amsterdam, v.14, p.371-84, 1995b.

ENDEREÇO

Marcio Alves de Oliveira
Department of Kinesiology
University of Maryland
College Park, MD 20742-2611
USA

Recebido para publicação: 30/11/2004
Revisado: 14/07/2005
Aceito: 01/08/2005