
Coordenação motora e funções executivas: possíveis associações

**Giordano Formolo Nava,
Daniel Zacaron,
Glauber Carvalho Nobre,
Rodrigo Flores Sartori**

Resumo

Atualmente, a literatura expõe dados que representam fortes correlações entre os níveis de coordenação motora e habilidades cognitivas gerais. Entretanto, pouco se sabe sobre até que ponto uma variável pode incidir sobre outra, e vice-versa. Tendo em vista tais constatações, esta pesquisa tem como objetivo verificar as possíveis correlações entre funções executivas e tarefas de coordenação motora em escolares. Participaram da amostra 40 crianças, de faixa etária 11 e 12 anos, regularmente matriculadas em escolas públicas de Caxias do Sul/RS. Foram utilizados três testes para mensurar a aptidão funcional executiva: *Go/No-Go*, *Odd One Out* e *Trial Making Test*; e o teste *KTK* para avaliar a coordenação motora. Dentre os resultados, exaltou-se correlações moderadas, negativas e significativas entre o número de erros no teste de controle inibitório auditivo verbal e o desempenho nas quatro tarefas motoras (equilíbrio, $r = -0.352$ $p = 0.028$; salto monopedal, $r = -0.339$ $p = 0.035$; salto lateral, $r = -0.319$ $p = 0.048$ e na transposição, $r = -0.341$ $p = 0.034$). A partir desta pesquisa, conclui-se que a associação entre funções executivas e coordenação motora existe. Sugere-se que, para treinar a capacidade motora de um indivíduo em potencial máximo, o desafio deve aliar a tarefa física a uma demanda cognitiva, da qual instigue o praticante a vencer o obstáculo de forma inteligente, onde o sucesso não dependa apenas de seu vigor físico, mas de uma estratégia elaborada intrinsecamente.

Palavras-chave: Funções executivas, coordenação motora, controle inibitório.

Motor coordination and executive functions: possible associations

Giordano Formolo Nava, Daniel Zacaron, Glauber Carvalho Nobre, Rodrigo Flores Sartori

Abstract

Currently, the literature exposes data that represent strong correlations between levels of motor coordination and general cognitive skills. However, little is known about the extent to which one variable can affect another, and vice versa. This research aims to verify the possible associations between executive functions and motor coordination task in children. The sample included 40 children, aged 11 and 12 years old, regularly enrolled in public schools in Caxias do Sul / RS. Three tests were used to measure executive functions: Go / No-Go, Odd One Out and Trial Making Test; and the KTK test to assess the motor coordination. Among the results, moderate, negative and significant correlations were highlighted between the number of errors in the verbal auditory inhibitory control test and the performance in the four motor tasks (balance, $r = -0.352$ $p = 0.028$; monopedal jump, $r = -0.339$ $p = 0.035$; lateral jump, $r = -0.319$ $p = 0.048$ and in transposition, $r = -0.341$ $p = 0.034$). From this research, it is concluded that the association between executive functions and motor coordination exists. It is suggested that, in order to train the motor capacity of an individual in maximum potential, the challenge must combine the physical task with a cognitive demand, from which instigate the practitioner to overcome the obstacle in an intelligent way, where success does not depend only on his physical vigor, but of an instrumentally elaborated strategy.

Keywords: Executive functions, motor coordination, inhibitory control.

Coordinación motora y funciones ejecutivas: posibles asociaciones

Giordano Formolo Nava, Daniel Zacaron, Glauber Carvalho Nobre, Rodrigo Flores Sartori

Resumen

Actualmente, la literatura expone datos que representan fuertes correlaciones entre los niveles de coordinación motora y las habilidades cognitivas generales. Sin embargo, se sabe poco sobre la medida en que una variable puede afectar a otra y viceversa. Ante estos hallazgos, esta investigación tiene como objetivo verificar las posibles asociaciones entre funciones ejecutivas y coordinación motora en escolares. La muestra incluyó a 40 niños, de 11 y 12 años, matriculados regularmente en escuelas públicas de Caxias do Sul / RS. Se utilizaron tres pruebas para medir la aptitud funcional ejecutiva: Go / No-Go, Odd One Out y Trial Making Test; y la prueba KTK para evaluar el nivel motor. Entre los resultados, se destacaron correlaciones moderadas, negativas y significativas entre el número de errores en la prueba de control inhibitorio auditivo verbal y el desempeño en las cuatro tareas motoras (equilibrio, $r = -0,352$ $p = 0,028$; salto monopédal, $r = -0,339$ $p = 0,035$; salto lateral, $r = -0,319$ $p = 0,048$ y en transposición, $r = -0,341$ $p = 0,034$). De esta investigación se concluye que existe asociación entre funciones ejecutivas y coordinación motora. Se sugiere que para entrenar la capacidad motora de un individuo al máximo potencial, el desafío debe combinar la tarea física con una demanda cognitiva, lo que anima al practicante a superar el obstáculo de forma inteligente, donde el éxito depende no solo de su vigor físico, más una estrategia intrínsecamente diseñada.

Palabras-clave: Funciones ejecutivas, coordinación motora, control inhibitorio.

Introdução

Nos últimos tempos, há um crescente aumento no número de pesquisas associadas às Funções Executivas (FE) em meio à literatura. Estudos com o intuito de discutir pontos mediante o assunto vêm sendo promovidas por especialistas (GRAFMAN et al., 1995). Para estudantes e interessados em FE, livros com conceitos do tema têm sido publicados como forma de ampliar a discussão sobre o tema (DAMÁSIO, 1996; GOLDBERG, 2002). Contudo, apesar da intensa pesquisa e busca por resultados que possam auxiliar na construção de seu conceito, muitas dúvidas são acometidas quanto a real compreensão de FE. Afirma-se que, contemporaneamente, as funções executivas são um sistema complexo de integração de múltiplas habilidades cognitivas ligadas diretamente à capacidade do indivíduo em adaptar-se a situações e mudanças ambientais (MORTON, 2013; DIAMOND, 2013). Esta rede trata-se de funções extremamente relevantes para o desenvolvimento dos seres humanos, a nível cognitivo e motor, das quais tem seu período crítico de assimilação durante a infância (ODA, SANT'ANA, & CARVALHO, 2002).

Na avaliação neuropsicológica, as funções executivas são usadas para designar uma ampla gama de características de um indivíduo: atenção, concentração, seletividade de estímulos, capacidade de abstração (controle inibitório), planejamento, flexibilidade de controle mental (flexibilidade cognitiva), autocontrole e memória operacional (GREEN, 2000; LORING, 1999; SPREEN & STRAUSS, 1998). Dentre essas, destacam-se três destas funções: memória operacional, controle inibitório e flexibilidade cognitiva. A memória operacional é mensurada pela capacidade de armazenar e manipular memórias de curto e longo prazo, que conduzem os comportamentos e ações dos envolvidos. O controle inibitório, por sua vez, é responsável por orientar os movimentos, divergindo de situações conflituosas e adaptando-se ao ambiente ou a situação em que é acometido. Por fim, a flexibilidade cognitiva tem a função de avaliar ações e criar caminhos diferentes para que os desafios sejam solucionados (BROWNE et al., 2016; NARDI et al., 2012; SERUCA, 2013).

Partindo do princípio de definição de cada uma das FE citadas, acrescenta-se que as mesmas acontecem de forma sequencial. Primeiramente, a memória operacional é resgatada, seguida do controle inibitório, que age conforme as demandas ambientais, e por fim, com a combinação destas duas habilidades, surge a flexibilidade cognitiva, caracterizada também como um dos componentes das funções executivas. Desta forma, afirma-se que essas três dimensões atuam de forma integrada e articulada, buscando maior eficiência de funcionamento executivo (CENTER ON THE DEVELOPING CHILD AT HARVARD UNIVERSITY, 2011).

Nos últimos anos as funções executivas começaram a ser discutidas e associadas aos aspectos do comportamento motor e todos os seus aspectos associados como a coordenação motora, ao desenvolvimento das habilidades motoras e a própria atividade física como elemento mais amplo no que se refere ao movimento humano. Estas relações entre funções executivas e movimento humano têm sido associados diretamente em crianças com o intuito de investigar o potencial benéfico de sessões agudas (única sessão) e em períodos mais prolongados de atividade física na cognição. Estas pesquisas sugerem que a intervenção da atividade física aguda impacta, de forma

positiva, diretamente na cognição subsequente do indivíduo, especialmente se esta sessão ativa for superior a 10 minutos (CHANG et al., 2012).

Uma meta-análise de caráter quantitativo abrangente da literatura revisou um total de 59 estudos produzidos ao longo de seis décadas (de 1947 a 2009), expõe positivas ligações entre os níveis de atividade física e habilidades perceptivas, quociente de inteligência (QI), desempenho acadêmico, prontidão escolar, tarefas matemáticas, tarefas verbais, capacidade de leitura e criatividade em crianças com idade escolar (FEDEWA & AHN, 2011). Corroborando com esta ideia, outra meta-análise, confeccionada a partir de 31 estudos interventivos (GREEFF et al., 2018), identificou que com apenas uma sessão, aprimorou-se a capacidade de atenção de crianças de 6 a 12 anos de idade. Além disso, estudiosos apontaram o papel moderador desempenhado pelas prerrogativas das atividades de coordenação motora, compreendida como um conjunto de aspectos cognitivos que são inerentes às tarefas motoras (PESCE, 2012).

Nesse sentido, as tarefas coordenativas são caracterizadas por movimentos complexos que exigem múltiplos graus de liberdade e interação com partes do corpo e/ou objetos para comportamentos direcionados por objetivos (PESCE, 2012). A coordenação motora é reconhecida também por envolver a ativação do cerebelo. Este por sua vez, além das funções motoras, influencia uma variedade de sistemas neurocomportamentais, incluindo atenção, memória operacional e, aprendizagem verbal e memória (UDDE et al., 2008). Uma pesquisa com escolares de 9 e 11 anos, encontrou-se evidências de associações moderadas entre tarefas de maior complexidade motora (saltos laterais) e funções executivas que envolviam tarefas de velocidade de processamento (LUZ et al. 2014). Similar tendência foi observada em um estudo com 93 adolescente entre 12 e 16 anos (RIGOLI et al., 2012). Associações foram reportadas em relação a proficiência motora (habilidades com bola, equilíbrio e destreza manual) e a memória de trabalho visuoespacial, bem como em relação ao controle inibitório; uma provável explicação para esses resultados reside na demanda cerebelar destas ações. No entanto, ainda são poucas as evidências destas relações entre funções executivas e coordenação motora.

A Coordenação Motora (CM) é o nível de eficiência da ação em que um indivíduo atinge integrando diversas atividades motoras, bem como a organização dos movimentos e o controle de uma determinada resposta motora (D'HONDT E, et al., 2013). O alto grau de CM não é considerado apenas um benefício para o desenvolvimento motor de um indivíduo, mas também a base de um estilo de vida ativo e saudável (LUBANS et al, 2010; ENGEL et al., 2018). O aprimoramento da coordenação motora de crianças é de extrema importância para a participação de atividades físicas, além de contribuir com o desenvolvimento de habilidades básicas e posteriormente progredindo com padrões de movimentos mais complexos e integrados (STRODDEN et al., 2008). Os padrões de eficiência de um indivíduo com alta CM sugerem que o mesmo executa suas ações na maior naturalidade e com o menor gasto energético possível, o que pode levar a maiores quantidades e intensidades de atividade física (WROTNIK et al., 2006).

No entanto, pouco se sabe atualmente, por meio da literatura, se há alguma relação entre os fatores de funções executivas e coordenação motora,

de modo que alguma interaja sobre outra ou auxilie em determinados casos. Tendo em vista tais constatações, o presente estudo tem como objetivo verificar as possíveis correlações entre funções executivas e tarefas de coordenação motora em escolares.

Métodos

Amostra

Participantes

O presente estudo é de caráter transversal. Participaram do estudo 40 crianças, do sexo masculino, com idade entre 11 e 12 anos (média = 11.5; desvio padrão = 0.5, regularmente matriculadas em duas escolas públicas de Caxias do Sul/RS. As crianças matriculadas no quarto e quinto ano do ensino fundamental, não haviam sido reprovadas em seu histórico escolar e pertenciam a mesma classe socioeconômica de acordo com os dados da secretaria das escolas. Todas as crianças selecionadas para o estudo participavam regularmente das aulas de educação física e não tinham nenhuma condição física que as impedissem de realizar outras práticas motoras. Crianças com diagnóstico médico caracterizado por limitações físicas e transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (TDAH), assim como outras desordens de desenvolvimento (Autismo, deficiência intelectual etc) não participaram deste estudo.

Instrumentos

Foram aplicados o total de quatro testes para a aquisição dos dados necessários a serem avaliados, sendo três voltados as funções executivas e um para coordenação motora. Para mensurar o potencial de controle inibitório dos indivíduos, utilizou-se por meio de um aplicativo de celular, o teste GoNoGo (BANAJI & NOSEK, 2001). A tarefa *Go/No-Go* contém 60 números registrados, que variam de 0 a 9. Na primeira etapa, a partir de um estímulo visual/motor, o praticante deve interagir, por meio de toque, sempre que um número diferente de 6 aparece no visor, e de forma adversa, não agir quando o algarismo equivalente a meia dúzia surgir. Partindo deste princípio, o indivíduo assume a segunda etapa, porém com um estímulo áudio/verbal, no qual ele deve falar "sim" sempre que um algarismo distinto de 6 for citado, e opostamente, ficar silente quando o número equivalente a meia dúzia for proferido. A pontuação para estas duas fases é configurada com o número de erros que os praticantes cometem.

Como instrumento de medida para a memória operacional, foi aplicado o teste *OddOneOut* (HENRY, 2001), também pelo meio eletrônico. Esta tarefa é composta por matrizes com três lacunas contendo imagens em cada uma, classificadas em spans (espaços) de dificuldade. A cada quatro sequências, eleva-se um spam de dificuldade. Destas imagens, duas são idênticas e uma é diferente. Após identificar a imagem distinta, o indivíduo pressiona "continuar" e as matrizes são repostas, porém vazias, e a partir disso deve-se marcar em qual lacuna a imagem divergente estava presente. Como forma de evoluir o grau de dificuldade do jogo, aumenta-se o número de trincas de imagens para a memorização, antes que se identifique as "caixas"

correspondentes. A pontuação é computada a partir do número de acertos de recordação, e o jogo é encerrado em duas ocasiões: Conclusão ou segundo erro consecutivo em um mesmo spam.

Por fim, o último mecanismo de avaliação capta a flexibilidade cognitiva do indivíduo, e é conhecido como *TrialMakingTest* (MONTIEL & SEABRA, 2012). Este instrumento é dividido em duas partes. A parte A é caracterizada como a fase simples e é composta por duas folhas (uma para letras e outra para números). Na primeira folha, estão distribuídas de forma desordenada 12 letras de "A" a "M" (com ausência da letra "K"), e nela o sujeito deve interligar os elementos em ordem alfabética no menor tempo possível. Na segunda folha, estão dispostos números aleatoriamente, de "1" a "12", e o indivíduo deve ligá-los em sequência numérica no menor tempo possível. Na parte B do teste, encontra-se uma folha com letras (de "A" a "M", como anteriormente) e números (de "1" a "12", também como na avaliação anterior) distribuídos desordenadamente. Nesta parte do teste o objetivo é ligar letras e número de maneira intercalada, sendo primeiro uma letra, e depois um número. Nesse sentido, a criança deve iniciar pela letra A depois encontrar o número 1, letra B, número e assim consecutivamente. Para a parte A, é calculado o tempo que o avaliado consome até terminar de ligar, tanto as letras quanto os números. Já na parte B, calcula-se um minuto, e a partir disso, identifica-se quantas ligações foram executadas corretamente.

Para avaliar o desempenho de coordenação motora dos avaliados, utilizou-se o teste *Körperkoordinationstest Für Kinder – KTK* (KIPHARD & SCHILLING, 1974). Foram aplicadas cada uma das quatro etapas do teste: Equilíbrio em marcha para trás, salto monopedal, saltos laterais e transposição lateral. Este teste apresenta todas as condições necessárias para a mensuração do nível motor amplo, e tem como principais valências o equilíbrio, lateralidade, agilidade e velocidade (GORLA, 2001). Os resultados dos educandos são analisados de forma quantitativa, sendo registrados os números de movimentos corretos em cada prova, e utilizado como limiar classificatório.

Procedimentos

A presente pesquisa foi aprovada pelo comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (CEP – UFRGS). As escolas concordaram em fazer parte do estudo através da carta de apresentação, da qual citava a futura abordagem. Dessa forma, todos os indivíduos assinaram o Termo de Consentimento Livre Esclarecimento (TCLE) declarando seu consentimento em participar do estudo. As avaliações foram todas aplicadas em ambientes livres de qualquer perturbação que viesse a frustrar com as tarefas. As avaliações foram feitas em ambiente fechado (salas) para os testes de funções executivas e na quadra da escola para os testes de coordenação motora. Para os testes de funções executivas, com os avaliados estiveram confortavelmente sentados, sem interferência externa, de forma individual. Da mesma forma, os testes de coordenação motora foram realizados de forma individual. Antes de iniciar os testes, os alunos receberam explicação sobre os mesmos. Cada sujeito demorou em média 30 minutos para fazer toda a bateria de testes, sempre iniciando pelos testes cognitivos. Os praticantes foram individualmente avaliados, sempre recebendo orientações detalhadas sobre a execução. Todos os experimentos foram administrados por dois pesquisadores

treinados de acordo com os procedimentos recomendados pelos devidos protocolos.

Análise de Dados

Os resultados foram descritos pelo cálculo da média e desvio padrão das variáveis contínuas. A distância quadrada de *Mahalanobis* (D^2) foi utilizada para verificar possíveis *outliers* uni. A normalidade dos dados foi testada usando o teste de assimetria e curtose univariada, adotando-se valores maiores que 3 e menores que 7 como parâmetros para a violação da normalidade. Uma vez confirmada a normalidade dos dados, o teste paramétrico de correlação de Pearson foi utilizado para verificar as relações entre as variáveis das funções executivas e das tarefas de coordenação motora. Valores iguais ou inferiores a 0.3 foram considerados como correlação fraca; valores entre 0.31 e 0.50 foram considerados como correlação moderada; valores iguais ou maiores que 0.51 e menores que 0.70 foram considerados como correlação forte, valores maiores que 0.71 e menores que 0.99 como correlação muito forte (adaptado de COHEN, 1988). As análises foram realizadas no programa R studio com o pacote psych (REVELLE, 2011). O nível de significância adotado foi de $\alpha < 0.05$.

Resultados

O teste D^2 de Mahalanobis não detectou *outliers*. Ainda, os resultados de assimetria e curtose univariadas e curtose suportam a normalidade da distribuição dos dados. As análises descritivas e as correlações entre todas as variáveis são apresentadas na tabela 1. Correlações moderadas, negativas e significativas foram observadas entre o número de erros no teste de controle inibitório auditivo verbal e o desempenho nas quatro tarefas motoras (equilíbrio, $r = -0.352$ $p = 0.028$; salto monopedal, $r = -0.339$ $p = 0.035$; salto lateral, $r = -0.319$ $p = 0.048$ e na transposição, $r = -0.341$ $p = 0.034$). Correlações moderadas e negativas também foram observadas entre o TMT-N e o salto lateral ($r = -0.365$ $p = 0.023$), o TMT-N e a transposição ($r = -0.357$ $p = 0.026$) e o TMT-L e a transposição ($r = -0.344$ $p = 0.032$). Correlações moderadas e positivas foram observadas entre o ODD e o salto lateral ($r = 0.342$ $p = 0.033$) e o ODD e o desempenho na tarefa de transposição do corpo ($r = 0.504$ $p = 0.001$).

Tabela 1. Estatística descritiva e correlações entre as variáveis

	M (SD)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
(1) Equi	31.8 (18.4)	-								
(2) SM	59.3 (12.9)	0.548*	-							
(3) SL	59.5 (14)	0.386*	0.513**	-						
(4) TL	40.8 (8.3)	0.240	0.291	0.559**	-					
(5) GNGAV 2.1	(1.9)	-	-	-	-	-				
(6) GNGVM2.1	(1.7)	0.352*	0.339*	0.319*	0.341*					
(7) ODD	10.1 (4.5)	-0.110	-0.111	-0.08	0.111	0.214	-			
(8) TMTN°	19.3 (10.3)	-0.308	-0.233	-	-	0.045	-0.061	-0.327*	-	
(9) TMTL	21.8 (11.7)	-0.17	-0.151	-0.142	-	0.108	-0.047	-	0.746***	-
(10) TMTSQ	14.0 (4.4)	0.153	0.121	0.013	0.203	-0.269	0.083	0.212	-0.359	-
									528***	

Nota: equi – equilíbrio; SM – salto monopedal; SL – salto lateral; TL – transposição lateral; GNGAV – GonoGo auditivo verbal; GNGVM – GonoGo visual motor; ODD – teste de OD ONE OUT; TMT-N – Trial Making Test (Números); TMT-L – Trial Making Test (Letras); TMT-SQ – Trial Making Test (Sequência).
*p < 0.05; ** p< 0.01; ***p < 0.001

Discussão

A presente pesquisa, que teve como meta principal investigar as possíveis associações entre coordenação motora e funções executivas, demonstrou correlações significativas entre algumas das variáveis investigadas. Dentre elas, correlações moderadas e negativas foram notadas entre o *TMT-N* e o salto lateral, o *TMT-N* e a transposição e o *TMT-L* e a transposição lateral. Correlações moderadas e positivas foram observadas entre o *Odd One Out* (*memória de trabalho*) e o salto lateral e o *Odd One Out* e o desempenho na tarefa de transposição lateral. Todavia, dentre todas as correlações apresentadas, destacou-se a correlação entre a variável Go/No-Go Auditivo e Verbal (Controle Inibitório) com todos os subtestes relacionados a coordenação motora

Com base nos resultados deste estudo pode se dizer que as duas variáveis do Desenvolvimento Humano (Cognição e coordenação motora) devem ser compreendidas de maneira indissociável (DIAMOND, 2000). Alguns pontos de estudo podem consentir com a ideia de que existe, cientificamente, uma ligação entre estas áreas. Ao associar estas duas funções do desenvolvimento, é possível ressaltar que os estudos associativos de funções executivas e coordenação motora em crianças, apontam que a coordenação motora parece estar relacionada com as funções executivas (LUZ et al. 2015). Uma correlação positiva e significativa entre FE e CM também foi encontrada no estudo de Jenny et al. (2013), quando avaliado crianças e adolescentes de 7 a 18 anos de idade. Da mesma forma Livesey et al. (2006), verificaram que crianças de faixa etária 5 e 6 anos, com alto nível de desempenho em tarefas cognitivas e motoras, processavam com mais efetividade, no que se refere a

conectividade neural, permitindo um melhor desempenho cognitivo (PONTIFEX et al., 2011).

Estas associações entre os aspectos motores e cognitivos do desenvolvimento podem ser explicadas já que o desenvolvimento motor apoia-se em uma rede complexa e interativa de estruturas neurais. A coordenação motora que nos permite planejar, organizar e executar intencionalmente movimentos é suscetível às diferentes demandas e experiências dos contextos e relaciona-se não apenas as áreas do córtex motor, mas também está associado com áreas do processamento cognitivo (RAHIMI-GOLKHANDAN et al., 2015.). Estas tarefas coordenativas envolvem e também processam habilidades cognitivas de ordem superior, além de apresentarem processos neuronais implícitos (VAN DER FELS et al., 2015). Consequentemente a percepção, a cognição e o desenvolvimento motor são vistos como sistemas funcionais integrados (LEONARD, 2016).

Dessa forma, tarefas coordenativas que envolvem movimentos complexos e demandam múltiplos graus de liberdade e interação membros do corpo (PESCE, 2012) são caracterizadas por ativarem tanto o córtex motor como o cerebelo (BUDDE et al., 2008). Corroborando com esta ideia, em um estudo de revisão realizado por Bugalho et al. (2006), que tem como ênfase compreender o papel do cerebelo (classicamente conhecido como responsável pela coordenação motora) nas funções cognitivas e comportamentais. Do ponto de vista patológico, viu-se que, indivíduos com o cerebelo degenerativamente comprometido, acometiam mau funcionamento das funções executivas, justificando a estreita associação entre coordenação motora e cognitiva em função da ativação de mesmas áreas do sistema nervoso central em tarefas motoras. É possível sugerir que há evidências crescentes de que o cerebelo é fundamental, não exclusivamente para as respostas motoras do indivíduo, mas também para as funções cerebrais, especialmente para as funções executivas, funções visuo-espaciais e verbais (STEINLIN, 2007; MARVEL; DESMOND, 2010; STOODLEY, 2011).

Pode se perceber que a coordenação motora está associada a dois componentes das funções executivas, incluindo a memória de trabalho e controle inibitório. Da mesma forma, outras variáveis cognitivas estão associadas com a coordenação motora, como por exemplo; decodificação de letras e palavras, resolução de problemas quantitativos, escrita e interação efetiva com colegas e adultos (WESTENDORP et al., 2011). A coordenação motora não está associada apenas aos movimentos em si, mas incluem os processos cognitivos que dão origem aos movimentos. Essas relações implicam na interação dos sistemas de movimento com o sistema cognitivo (DIAMOND, 2012b, 2013) e neste ponto de discussão, especificamente com a memória de trabalho.

A memória de trabalho é um sistema temporário de armazenamento de informações ultrarrápido que permite o monitoramento e o manejo das informações (BADDELEY, 2003) e relaciona-se à retenção da informação em mente e a possibilidade de trabalhar mentalmente com esta informação, relacionando uma coisa à outra, ou usando pistas desta informação para resolver um problema (DIAMOND, 2013) o que ocorre durante a execução das tarefas de coordenação que foram investigadas. Estes conceitos corroboram com os resultados encontrados em nosso estudo que apontam forte correlação

entre as variáveis investigadas. Do ponto de vista prático, a capacidade de retenção nos torna capazes de conectar elementos não relacionados, bem como separar elementos integrados (ALLOWAY, 2011; DIAMOND, 2012). Estes processos de desmontagem e recombinação dos elementos mostram-se fundamentais para a criatividade, além disso, nos permitem levar esse tipo de ação como um processador para os mecanismos de tomada de decisão (DIAMOND, 2012).

Os resultados da nossa pesquisa apontam também que, houve forte correlação entre a coordenação motora e o controle inibitório. Esta função executiva é reconhecida como a variável mais promissora para a compreensão das relações entre estas variáveis do desenvolvimento (coordenação motora e funções executivas). Como qualquer criança que enfrenta o seu processo evolutivo, existe uma grande necessidade de melhorar suas novas funções. A infância é um período crítico de aprimoramento, especialmente para a efetivação de funções cognitivas, sendo uma delas a capacidade de inibição de comportamento (STOODLEY, 2011).

As redes neurais ligadas a atenção do controle executivo e a eficiência do controle inibitório são variáveis que podem ser treináveis no desenvolvimento de crianças TSAI, WANG e TSENG (2012). Estes dados são confirmados por um estudo realizado por Rueda et al (2005) onde pode-se perceber modificações positivas no controle inibitório de crianças a partir de uma intervenção com jogos computacionais. A explicação deste fato é discutida por Tsai, Wang e Tseng (2012) onde ressaltam que a atenção visuo-espacial se desenvolve desde a infância e a capacidade de controle inibitório é essencial para desenvolvimento da rede de atenção em crianças. Os autores ressaltam que tais funções, também estão relacionados ao controle do movimento. Nesse sentido, os autores ressaltam que déficits motores no início da infância podem inibir o desenvolvimento da função de atenção viso espacial, levando a um prejuízo do controle inibitório o que fortaleceria essa associação deste componente de função executiva com a coordenação motora.

Os resultados do nosso estudo também vão em direção a ideia de um mecanismo de integração entre aspectos motores e cognitivos do desenvolvimento. Booth et al. (2003) estruturaram um modelo neuro-cognitivo voltado a inibição das ações. Esta estrutura chama-se rede frontoestriada e atua como líder articulando a atividade na área motora que é de extrema importância na iniciação, planejamento e execução do movimento. Este sistema funciona da seguinte forma: Supondo que uma criança esteja jogando queimada e seja alvo de um arremessador. Como forma de confundir o adversário, a criança se desloca lateralmente, pois esta é uma estratégia que ela já possui, e mantém intacta de qualquer interferência negativa. Ao ser alvo de um lançamento, o indivíduo procura uma alternativa que desvie a rota principal, ou seja, inibindo a ação anteriormente planejada.

Considerações finais

Pode-se concluir que existem associações entre as variáveis investigadas, especificamente da coordenação motora com a capacidade de memória de trabalho e de forma mais significativa com o controle inibitório. Nesse sentido, a aquisição e desenvolvimento da coordenação motora exige não apenas a qualidade de execução dos gestos motores, mas também uma

capacidade de adaptação dos processos cognitivos de ordem superior inerentes a cada tarefa. Subentende-se, então, que o progresso da coordenação motora pode estar vinculado e dependente do desenvolvimento das funções executivas.

Apesar do estudo ter indicado uma associação entre coordenação motora e funções executivas, não se pode ser determinista com esse fato, visto que o processo de avaliação de qualquer função cognitiva é extremamente complexo e envolve outras funções do sistema nervoso central. Esse é um ponto limitador deste estudo, mas que merece mais atenção no sentido de fomentar o esporte e exercício físico como elementos de discussão de políticas públicas, sobretudo na infância. É notória a necessidade de realizar mais estudos com crianças e jovens em situação de dificuldades motoras, preferencialmente com amostras maiores e que nestes estudos sejam feitas novas associações com outros aspectos cognitivos para que possamos entender os inúmeros processos entre cérebro e o movimento humano, como se relacionam e de que maneira um influencia o outro. Considerações finais.

Referências

BOUCHARD, C. E., SHEPHARD, R. J., & STEPHENS, T. E. (1994). Physical activity, fitness, and health: international proceedings and consensus statement. In International Consensus Symposium on Physical Activity, Fitness, and Health, 2nd, May, 1992, Toronto, ON, Canada. **Human Kinetics Publishers**.

BROWNE, R. A. V., COSTA, E. C., SALES, M. M., FONTELES, A. I., MORAES, J. F. V. N. DE, BARROS, J. DE F. (2016). Efeito agudo do exercício aeróbico vigoroso sobre o controle inibitório em adolescentes. **Revista Paulista de Pediatria**, 34(2), 154- 161.

BUDDE, H., VOELCKER-REHAGE, C., PIETRABYK-KENDZIORRA, S., RIBEIRO, P., TIDOW, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. **Neuroscience Letters**, 441(2), 219-223.

BUGALHO, P.; CORRÊA, B., & BAPTISTA, M. V. (2006). Papel do cerebelo nas funções cognitivas e comportamentais-Bases científicas e modelos de estudo. **Acta Médica Portuguesa**, v. 19, n. 3, p. 257-267.

CENTER ON THE DEVELOPING CHILD AT HARVARD UNIVERSITY (2011). **Construção do sistema de "Controle de Tráfego Aéreo" do cérebro: como as primeiras experiências moldam o desenvolvimento das funções executivas**: Estudo n. 11 <http://www.developingchild.harvard.edu>.

CHANG, Y. K., LABBAN, J. D., GAPIN, J. I., & ETNIER, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. **Brain Research**, 1453(250), 87-101.

COHEN, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2. ed.

London: **Lawrence Erlbaum Associates**, 1988. v. 2.

D'HONDT, E., DEFORCHE, B., GENTIER, I., DE BOURDEAUDHUIJ I., VAEYENS R., PHILIPPAERTS R., et al. (2013). A longitudinal analysis of gross motor coordination in overweight and obese children versus normal-weight peers. **International Journal of Obesity**; 37: 61-7.

DAMÁSIO, A. R. (1996). O erro de Descartes: Emoção, razão e cérebro humano. São Paulo, SP: **Companhia das Letras**.

DIAMOND, A. (2013). Executive functions. **Annual Review of Psychology**, 64, 135-168.

ENGEL AC, BRODERICK CR, DOORN NV, HARDY LL, PARMENTER BJ (2018). Exploring the Relationship Between Fundamental Motor Skill Interventions and Physical Activity Levels in Children: A Systematic Review and Meta-analysis. **Sports Med**; 48(1845).

FEDEWA, A. L., & AHN, S. (2011). The effects of physical activity and physical fitness on children's achievement and cognitive outcomes: a meta-analysis. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, 82(3), 521-35.

GOLDBERG, E. (2002). **O cérebro executivo: Lobos frontais e a mente civilizada**. Rio de Janeiro, RJ: Imago.

GORLA JI. **Coordenação motora de portadores de deficiência mental: avaliação e intervenção**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

GRAFMAN, K., HOLYOAK, K. J., & BOLLER, F. (EDS.). (1995). Structure and functions of the human prefrontal cortex. **Annals of the New York Academy of Sciences**, 769.

GREEFF, J. W., BOSKER, R. J., OOSTERLAAN, J., VISSCHER, C., & HARTMAN, E. (2018). Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children: a meta-analysis. **Journal of Science and Medicine in Sport**, 21(5), 501-507.

GREEN, J. (2000). **Neuropsychological evaluation of the older adult: A clinician's guidebook**. San Diego, CA: Academic Press.

HENRY, L. (2001). **How does the severity of a learning disability affect working memory performance?** *Memory*, v. 9, n. 4-6, p. 233-247.

HILLMAN, C. H., BUCK, S. M., THEMANSO, J. R., PONTIFEX, M. B., & CASTELLI, D. M. (2009). Aerobic fitness and cognitive development: Event-related brain potential and task performance indices of executive control in preadolescent children. **Developmental Psychology**, 45, 114-129.

JENNI, O., CHAOUCH, A., CAFLISCH, J., & ROUSSON, V. (2013). Correlations between motor and intellectual functions in normally developing children between 7 and 18 years. **Developmental Neuropsychology**, 38,

98-113.

KIPHARD, E. J., & SCHILLING, V. F. (1974). **Körper-koor-dinations-test für kinder KTK: manual Von Fridhelm Schilling**. Weinheim: Beltz Test.

LIVESEY, D., KEEN, J., ROUSE, J., & WHITE, F. (2006). The relationship between measures of executive function, motor performance and externalising behaviour in 5- and 6- year-old children. **Human Movement Science**, 25, 50-64.

LORING, D. (ED.). (1999). **INS Dictionary of neuropsychology**. New York: Oxford University Press.

LUBANS D. R., MORGAN P. J., CLIFF D. P., BARNETT L. M., OKELY A. D. (2010). Fundamental Movement Skills in Children and Adolescents. Review of Associated Health Benefits. **Sports Med**; 40(12): 1019-35.

LUZ, C., RODRIGUES, L. P., & CORDOVIL, R. (2015). The relationship between motor coordination and executive functions in 4th grade children. **European Journal of Developmental Psychology**, 12(2), 129-141.

MONTIEL, J. M., & SEABRA, A. G. (2012). Teste de Trilhas – Partes A e B. **Avaliação neuropsicológica cognitiva: Atenção e funções executivas**, 1, 79-85.

MORTON, J. B. (2013). **Enciclopédia sobre o desenvolvimento na primeira infância. Canadá**: University of Western Ontario.

NARDI, T. DE., SAN VICENTE-VIEIRA, B., PRANDO, M., STEIN, L. M., FONSECA, R. P., & GRASSI-OLIVEIRA, R. (2012). Tarefa N-Back Auditiva: Desempenho entre Diferentes Grupos Etários. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, 26(1), 151-159.

NOSEK, B. A., & BANAJI, M. R. (2001); The go/no-go association task. **Social cognition**, 19(6), 625-666.

ODA, J. Y., SANT'ANA, D. M. G., & CARVALHO, J. (2002). Plasticidade e regeneração funcional do sistema nervoso: Contribuição ao estudo de revisão. **Arquivos de Ciências da Saúde da Unipar**, 6(2), 171-176.

PESCE, C. (2012). Shifting the Focus from Quantitative to Qualitative Exercise Characteristics in Exercise and Cognition Research. **Journal of Sport and Exercise Psychology**, 34(6), 766- 786.

PONTIFEX, M. B., RAINE, L. B., JOHNSON, C. R., CHADDOCK, L., VOSS, M. W., COHEN, N. J., HILLMAN, C. H. (2011). Cardiorespiratory fitness and the flexible modulation of cognitive control in preadolescent children. **Journal of Cognitive Neuroscience**, 23, 1332-1345.

REVELLE, W. Using the psych package to generate and test structural models. Package, p. 1-45, 2011.

RUEDA, M. Rosario; POSNER, Michael I.; ROTHBART, Mary K. The

development of executive attention: Contributions to the emergence of self-regulation. **Developmental neuropsychology**, v. 28, n. 2, p. 573-594, 2005.

SERUCA, T. C. M. (2013). **Córtex Pré-Frontal, Funções executivas e comportamento criminal** (Tese de Doutorado). Instituto Universitário Ciências Psicológicas, Sociais e da Vida. Lisboa, LX, Portugal.

SPREEN, O., & STRAUSS, E. (1998). A compendium of neuropsychological tests. **Administration, norms, and commentary**. New York: Oxford University Press.

STODDEN D. F., GOODWAY J. D., LANGENDORFER S. J., ROBERTON M. A., RUDISILL M. E., GARCIA C, et al. (2008). A Developmental Perspective on the Role of Motor Skill Competence in Physical Activity: An Emergent Relationship. **Quest**; 60: 290-306.

TSAI, C. L.; WANG, C. H.; TSENG, Y. T. Effects of exercise intervention on event-related potential and task performance indices of attention networks in children with developmental coordination disorder. **Brain and Cognition**, v. 79, n. 1, p. 12-22, 2012.

WROTNIAK B. H., EPSTEIN L. H., DORN J. M., JONES K. E., KONDILIS V.A. (2006). The Relationship Between Motor Proficiency and Physical Activity in Children. **Pediatrics**; 118: e1758-e65.

ZIEREIS, S., & JANSEN, P. (2015). Effects of physical activity on executive function and motor performance in children with ADHD. **Research in Developmental Disabilities**, 38, 181-191 (2019). Burnout symptoms and recovery processes in eight elite soccer coaches over 10 years. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 4(4), 431-443. DOI: 10.1177/1747954119851246.

Sobre o autor

Giordano Formolo Nava

Centro Universitário da Serra Gaúcha - FSG, Caxias do Sul, Brasil

Daniel Zacaron

Centro Universitário da Serra Gaúcha - FSG, Caxias do Sul, Brasil

Glauber Carvalho Nobre

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, Fortaleza - CE, Brasil

Rodrigo Flores Sartori

Centro Universitário da Serra Gaúcha - FSG e Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, Rio Grande do Sul, Brasil

Contato

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA

Giordano Formolo Nava

E-MAIL giordanofnava@hotmail.com