


HABILIDADES MOTORAS ESTÃO RELACIONADAS AO MELHOR DESENVOLVIMENTO COGNITIVO EM CRIANÇAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

ASSOCIATION BETWEEN MOTOR SKILLS AND ENHANCED COGNITIVE DEVELOPMENT IN CHILDREN: A SYSTEMATIC REVIEW

RESUMO

Objetiva-se através desta revisão sistemática, fornecer uma visão geral dos estudos que demonstram evidências de uma relação entre as habilidades motoras e aspectos cognitivos em crianças saudáveis. A busca eletrônica foi realizada em cinco bases de dados: Pubmed (Medline), Web of Science, Scopus, Science Direct e Embase conduzida no mês de março de 2023. Utilizou-se os seguintes descritores MeSH e operadores booleanos: "Cognition AND Gross motor skills AND Children". Um total de 1.498 estudos foram encontrados nas bases de dados selecionadas. Após a análise e aplicação dos critérios de elegibilidade, foram incluídos 21 artigos na presente revisão. Os resultados demonstraram que há uma relação significativa entre habilidades motoras e domínios cognitivos, mostrando uma maior afinidade das habilidades motoras com o funcionamento executivo e o desempenho acadêmico.

Karollainy Gomes da Silva 
e-mail: karollainyfisio@gmail.com

Sandra Lopes de Souza^a
Waleska Maria Almeida Barros^{a,b} 

^aPrograma de Pós-graduação em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento, Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE

Paulo Roberto Leite de Arruda^b
Mayara Luclécia da Silva^b
Robson Feliciano da Silva^b
Erica Helena Alves da Silva^b
José Maurício Lucas Silva^b
Maria Eduarda Rodrigues Alves^{a,b}
Ana Patrícia da Silva Souza^{a,b}
Ana Beatriz Januário Silva^{a,b}

^bCentro Integrado de Tecnologias em Neurociência (CITENC), Centro Universitário FACOL (UNIFACOL)
Vitória de Santo Antão, PE

Submetido junho de 2025

Revisado junho de 2025

Publicado julho de 2025

Citação:

SILVA, K.G.; *et al.* **Habilidades Motoras Estão Relacionadas ao Melhor Desenvolvimento Cognitivo em Crianças: Uma Revisão Sistemática.** *Revista Gestus Multidisciplinar*, v. 1, n.1, pg 39-53, 2025

<https://doi.org/10.5281/zenodo.16015995>

Palavras-chave: Cognição; Cognitivo; Habilidades Motoras Grossas; Crianças.

ABSTRACT

This systematic review aims to provide an overview of studies that present evidence of a relationship between motor skills and cognitive aspects in healthy children. An electronic search was conducted across five databases: PubMed (Medline), Web of Science, Scopus, Science Direct, and Embase, during March 2023. The following MeSH descriptors and Boolean operators were used: "Cognition AND Gross motor skills AND Children." A total of 1,498 studies were identified across the selected databases. After screening and applying eligibility criteria, 21 articles were included in this review. The findings demonstrated a significant association between motor skills and cognitive domains, with a particular emphasis on the relationship between motor proficiency and executive functioning as well as academic performance.

Palavras-chave: Cognition; Cognitive; Gross Motor Skills; Children.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e maturação adequados do sistema nervoso central é de extrema importância para manter as diversas funções dos seres vivos [1], podendo interferir diretamente nos aspectos cognitivos e motores dos indivíduos [2]. Há um crescente escopo de pesquisas investigando a relação entre as habilidades cognitivas e habilidades motoras no desenvolvimento infantil [3]. Os processos cognitivos influenciam e são influenciados por nossas ações, envolvendo funções motoras e perceptuais. Da mesma forma, os processos cognitivos podem atuar juntamente com os mecanismos de tomada de decisão, controle motor e aprendizagem de competências motoras [4,5].

Teorias como a da reciprocidade e automaticidade ajudam na compreensão dos mecanismos que envolvem a interação entre os aspectos cognitivos e motores. A teoria da reciprocidade propõe que as habilidades motoras são adquiridas após vivenciar uma experiência motora, onde essa interação com o ambiente contribui na formação de processos cognitivos mais elaborados. Já a teoria da automaticidade sugere que as tarefas cognitivas e motoras competem pelos mesmos recursos da atenção cognitiva, em que a prática repetitiva leva a uma automatização do comportamento, ocorrendo assim, uma redução dos recursos da atenção cognitiva [6–8].

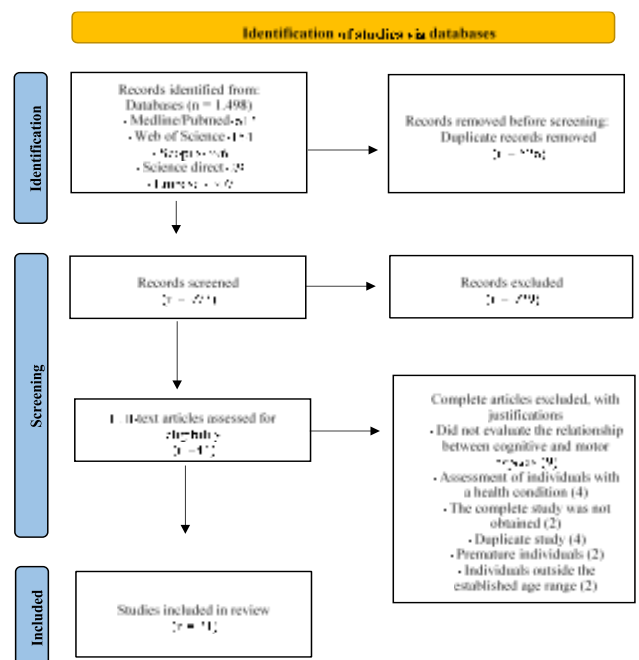
Por outro lado, evidências de estudos neuro-funcionais e neuro-anatômicos demonstram que há co-ativações das mesmas áreas cerebrais em atividades motoras e cognitivas. Essas envolvem o córtex pré-frontal, cerebelo, núcleos da base e estriado [9,10]. Tanto as habilidades motoras quanto as cognitivas possuem vários processos subjacentes em comum, como o monitoramento, sequenciamento e planejamento [11]. Além disso, as habilidades motoras e cognitivas podem ter desenvolvimento semelhante, que se sobrepõem e estão inter-relacionados [12].

Essas explicações demonstram a necessidade de investigar como as habilidades motoras se relacionam com domínios cognitivos. Portanto, objetiva-se através dessa revisão sistemática, demonstrar uma visão geral dos estudos que fornecem evidências de uma relação entre as habilidades motoras e aspectos cognitivos em crianças saudáveis.

2 Materiais e Métodos

Essa revisão sistemática foi conduzida de acordo com as diretrizes do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (Figura 1) e registrada no International Prospective Register of Systematic Reviews (PROSPERO) (<https://www.crd.york.ac.uk/prospero/>) sob o seguinte número de registro CRD42022335127.

Figura 1. Fluxograma do processo de seleção dos estudos.



2.1 Bases de Dados e Estratégia de Pesquisa

A busca eletrônica foi realizada no mês de abril de 2023 nas seguintes bases de dados: PubMed (Medline), Web of Science, Scopus, ScienceDirect e Embase. Os seguintes descritores MeSH e operadores booleanos: "Cognition" AND "Gross motor skills" AND "Children". A tabela 1 apresenta as informações da estratégia de busca.

Tabela 1. Informações da estratégia de busca

Equação de pesquisa	Pubmed (Medline)	Web of science	Scopus	ScienceDirect	Embase
	Cognition AND Gross motor skills AND Children	Cognition AND Gross motor skills AND Children	Cognition AND Gross motor skills AND Children	Cognition AND Gross motor skills AND Children	('cognition/exp OR cognition) AND 'gross motor skills' AND ('children/exp OR children)
Resultados da pesquisa	612	154	435	29	307
Filtro aplicado	NO	NO	Article	NO	NO
Resultados após a aplicação do filtro	-	-	396	-	-
Estudos incluídos na revisão	16	3	2	0	0

2.2 Seleção dos Estudos e Critérios de Elegibilidade

Foi realizada a execução da extração, seleção e coleta de dados por dois autores (KGS e MLS) de forma independente. Inicialmente foram selecionados títulos e resumos de acordo com os critérios de elegibilidade. Em seguida, os artigos selecionados foram lidos na íntegra para verificar a possibilidade de inclusão na revisão. As discordâncias foram resolvidas por um terceiro autor independente (WMAB).

Os critérios foram estabelecidos de acordo com a estratégia Population Intervention Comparator Outcome Study Design (PICOS), sendo (1) população: crianças saudáveis de 0 a 9 anos; (2) intervenção/exposição: desempenho da coordenação motora e sua associação a componentes dos aspectos cognitivos; (3) comparação: diferentes níveis de desempenho de habilidades motoras; (4) resultados: Crianças com melhores desempenho em habilidades motoras apresentam melhor desenvolvimento cognitivo; (5) desenho do estudo: estudos originais, como coortes, ensaios controlados aleatorizados, estudos de caso-controle e estudos transversais.

A faixa etária estabelecida levou em consideração o conceito da Organização Mundial da Saúde (OMS), onde a criança é considerada uma pessoa na faixa etária de 0 a 9 anos de idade [61].

Foram excluídos artigos que avaliaram crianças com patologias, nascidas prematuras ou superdotadas, aqueles que não avaliaram a relação dos aspectos cognitivos e motores na população estudada e estudos com animais. Além disso, artigos de revisão, cartas ao editor e editoriais não foram considerados na revisão.

2.3 Extração de dados

Os autores KSG e MLS realizaram revisões independentes de todos os artigos selecionados para extrair informações pertinentes à elaboração dessa revisão. Os desacordos foram resolvidos entre os autores ou com a participação de um terceiro revisor. Os dados foram extraídos e organizados em tabelas distintas, como apresentados na tabela 4 e 5. É relevante destacar que as pesquisas nas bases de dados eletrônicas foram feitas sem o uso de qualquer software automatizado. Planilhas do software Excel foram empregadas para tabular e extrair os dados dos estudos selecionados.

2.4 Avaliação da Qualidade dos Artigos

A avaliação crítica da qualidade dos artigos foi realizada com o protocolo de avaliação do Instituto Joanna Briggs (Institute JB), disponível em <https://joannabriggs.org/critical-appraisal-tools>. Esse recurso é utilizado para verificação da confiabilidade e relevância dos artigos avaliados. Essa etapa foi conduzida por dois autores independentes, e as discordâncias foram resolvidas por consenso entre esses. Através dessa avaliação crítica, buscou-se avaliar a qualidade metodológica dos estudos incluídos na revisão sistemática, utilizando a tabela de questões avaliativas específicas de acordo com o desenho do estudo.

3 RESULTADOS

3.1 Seleção dos Estudos

Um total de 1.498 estudos foram encontrados nas bases de dados selecionadas, 591 foram descartados por serem duplicatas. Após a aplicação dos critérios de elegibilidade, 928 foram excluídos por serem diferentes dos objetivos propostos, condições de saúde associadas, por não estarem integralmente disponíveis, por envolver indivíduos fora da faixa etária, ou por serem estudos em animais. Dessa forma, 44 estudos foram selecionados para leitura completa. Após a leitura minuciosa, 21 artigos foram incluídos. A Figura 1 esquematiza o processo de seleção dos estudos.

3.2 Análise de Qualidade dos Artigos

Após a avaliação de qualidade, conduzida de acordo com o desenho de cada estudo, nenhum artigo foi excluído (Tabela 2 e 3).

Tabela 2. Resultados da avaliação crítica dos estudos incluídos (Cohort) usando o Instituto Joanna Briggs

Estudo	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11
(CAMERON <i>et al.</i> , 2012)	NA	Y	Y	U	U	Y	Y	Y	Y	NA	U
(ESCOLANO-PÉREZ; HERRERO-NIVELA; LOSADA, 2020)	NA	Y	Y	U	U	Y	Y	Y	Y	Y	Y
(WU <i>et al.</i> , 2017)	NA	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
(PEYRE <i>et al.</i> , 2019)	NA	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	U	U	Y
(CAPUTE <i>et al.</i> , 1985)	NA	Y	U	N	N	Y	U	Y	U	U	U
BELKA; WILLIAMS, 1979)	NA	N	Y	U	U	Y	U	Y	Y	Y	U

Y, Yes; N, No; U, Unclear; NA, Not applicable. Q1: Were the two groups similar and recruited from the same population?; Q2: Were the exposures measured similarly to assign people to both exposed and unexposed groups?; Q3: Was the exposure measured in a valid and reliable way?; Q4: Were confounding factors identified?; Q5: Were strategies to deal with confounding factors stated?; Q6: Were the groups/participants free of the outcome at the start of the study (or at the moment of exposure)?; Q7: Were the outcomes measured in a valid and reliable way?; Q8: Was the follow up time reported and sufficient to be long enough for outcomes to occur?; Q9: Was follow up complete, and if not, were the reasons to loss to follow up described and explored?; Q10: Were strategies to address incomplete follow up utilized?; Q11: Was appropriate statistical analysis used?

Tabela 3. Resultados da avaliação crítica dos estudos incluídos (Estudo Transversal) utilizando o Instituto Joanna Briggs

Estudo	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
(VELDMAN <i>et al.</i> , 2019)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
(HAN <i>et al.</i> , 2022)	Y	U	Y	Y	Y	Y	Y	Y
(COOK <i>et al.</i> , 2019)	U	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
(FERNANDES <i>et al.</i> , 2022)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
(OBERER; GASHAJ; ROEBERS, 2017)	N	Y	Y	Y	Y	U	Y	Y
(VIEGAS <i>et al.</i> , 2023)	Y	Y	Y	Y	U	U	Y	Y
(GASHAJ <i>et al.</i> , 2019)	N	U	Y	Y	N	N	Y	U
(GEERTSEN <i>et al.</i> , 2016)	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
(SIMPSON <i>et al.</i> , 2019)	N	Y	U	Y	Y	Y	Y	Y
(FLORES <i>et al.</i> , 2023)	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
(NOBRE <i>et al.</i> , 2023)	Y	Y	Y	Y	U	U	Y	U
(MAURER; ROEBERS, 2019)	U	Y	Y	Y	U	U	Y	U
(MACDONALD <i>et al.</i> , 2020)	U	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
(BRUIJN, DE <i>et al.</i> , 2019)	N	Y	Y	Y	Y	U	Y	Y
(LI <i>et al.</i> , 2022)	N	Y	Y	Y	N	N	Y	U
(MACHADO <i>et al.</i> , 2017)	Y	Y	Y	Y	Y	U	Y	Y

Y, Yes; N, No; U, Unclear. Q1: Have the criteria for inclusion in the sample been clearly defined?; Q2: Were the study subjects and context described in detail?; Q3: Was exposure measured in a valid and reliable manner?; Q4: Were objective, standard criteria used to measure the condition?; Q5: Confounding factors have been identified?; Q6: Were strategies addressed to deal with confounding factors?; Q7: Were the results measured in a valid and reliable way?; Q8: Was appropriate statistical analysis used?

Tabela 4. Informações sobre autores, países, desenho de estudo e características da amostra dos estudos incluídos

Estudo	País	Desenho do estudo	Tamanho da amostra	Variação de idade
(VELDMAN <i>et al.</i> , 2019) [13]	Austrália	Estudo transversal	335 crianças - 53,7% meninos	11 e 29 anos
(HAN <i>et al.</i> , 2022) [16]	China	Estudo transversal	394 crianças - 53,8% meninos	3 a 5 anos
(COOK <i>et al.</i> , 2019) [29]	África do Sul	Estudo transversal	129 crianças - 52,7% meninas	3 a 6 anos
(FERNANDES <i>et al.</i> , 2022) [18]	Brasil	Estudo transversal	49 crianças - subgrupo eutrófico: 25 crianças	3 a 5 anos
(OBERER; GASHA); ROEBERS, 2017) [22]	Suíça	Estudo transversal	156 crianças - 51% meninas	6 anos
(VIEGAS <i>et al.</i> , 2023) [19]	Brasil	Estudo transversal	166 crianças - 47% meninos	3 a 5 anos
(CAMERON <i>et al.</i> , 2012) [24]	Estados Unidos	Estudo longitudinal	213 crianças -	3 a 4 anos
(ESCOLANO-PÉREZ; HERRERO-NIVELA; LOSADA, 2020) [27]	Espanha	Estudo longitudinal	38 crianças - 68,4% meninas	5 a 6 anos
(GASHA) <i>et al.</i> , 2019) [23]	Finlândia	Estudo transversal	151 crianças - 53% meninas	6,45 ± 0,36 anos
(GEERTSEN <i>et al.</i> , 2016) [30]	Dinamarca	Estudo transversal	423 crianças - 48% meninas	8 a 10 anos
(WU <i>et al.</i> , 2017) [17]	China	Estudo longitudinal	96 crianças - 57% - meninas	6 meses a 5 anos de idade T1: 14,25 ± 0,84 meses T2: 25,12 ± 0,97 meses T3: 38,20 ± 0,77 meses
(PEYRE <i>et al.</i> , 2019) [28]	França	Estudo longitudinal	1.144 crianças (coorte mãe - filho)	3 anos 5-6 anos
(SIMPSON <i>et al.</i> , 2019) [31]	Inglaterra	Estudo transversal	Experimento 1: 100 crianças (55% meninas); Experimento 2: 100 crianças (55 % meninos)	Experimento 1: 3 e 4 anos Experimento 2: 3 e 4 anos
(CAPUTE <i>et al.</i> , 1985) [25]	Estados Unidos	Estudo longitudinal	213 crianças - 51% meninos	3 anos
(BELKA; WILLIAMS, 1979) [26]	Estados Unidos	Estudo longitudinal	Pré-escola: 61 crianças; Jardim de infância: 63 crianças; Primeira série: 65 crianças.	Pré-escola: entre 57 e 68 meses; Jardim de infância: entre 67 e 81 meses; Primeira série: entre 78 e 92 meses.
(FLORES <i>et al.</i> , 2023) [32]	Portugal	Estudo transversal	62 crianças - 51% meninos	4,63 ± 0,81 anos
(NOBRE <i>et al.</i> , 2023) [20]	Brasil	Estudo transversal	211 crianças - 51,2% meninas	3 a 5 anos (4,31 ± 0,76 anos - meninas e 4,03 ± 0,81 anos meninos)
(MAURER; ROEBERS, 2019) [35]	Suíça	Estudo transversal	124 crianças - 54% meninas	5 a 6 anos (71 ± 5,8 meses)
MACDONALD <i>et al.</i> , 2020 [14]	Austrália	Estudo transversal	55 crianças - 54% meninas	6,77 ± 0,40 anos
(BRUIJN, DE <i>et al.</i> , 2019) [34]	Holanda	Estudo transversal	891 crianças - 50% meninas	9,17 ± 0,66 anos
(LI <i>et al.</i> , 2022) [15]	China	Estudo transversal	662 crianças - 54% meninos	3 a 6 anos
(MACHADO <i>et al.</i> , 2017) [21]	Brasil	Estudo transversal	63 crianças G1 - 19 G2 - 18 G3 - 26	6 a 16 meses G1 - 6 e 9 meses; G2 - 10 e 12 meses; G3 - 13 e 16 meses

Abreviações. T, tempo (1,2 e 3); G, grupo (1,2 e 3)

3.3 Características dos Estudos

Os estudos foram conduzidos em contextos geográficos distintos, englobando populações de diferentes regiões e perfil socioeconômicos. Os principais locais de pesquisas incluíram: Austrália [13,14], China [15–17], Brasil [18–21], Suíça [22,23] e Estados Unidos [24–26]. Um total de 5.940 indivíduos participaram da amostra final dos diferentes estudos. As médias de idade variaram entre 6 meses e $9,29 \pm 0,35$ anos. Além disso, houve a presença de dois desenhos de estudos, sendo estudos de coorte [17,24–28] e transversal [13–16,18–23,29–34]. As características dos estudos incluídos estão apresentadas na tabela 3.

3.4 Habilidades Motoras

Oito dos estudos incluídos avaliaram apenas as habilidades motoras grossas, onze envolveu a avaliação conjunta das habilidades motoras grossas e as finas e dois realizaram a observação dos marcos motores (Tabela 5). Os estudos empregaram uma variedade de instrumentos para analisar as habilidades motoras. Para a avaliação das habilidades motoras grossas, utilizou-se o teste de desenvolvimento motor grosso-2 (TGMD-2) em uma maior frequência, seguido do teste de coordenação corporal - Körperkoordinationstest für Kinder (KTK). O TGMD-2 envolve dois subtestes que incluem a avaliação de habilidades locomotoras e de controle de objetos. Já o teste de coordenação - KTK avalia diferentes domínios do desempenho motor grosso, entretanto, os subtestes de saltar e mover-se lateralmente e apoio unipodal foram mais utilizados para representar a motricidade grossa.

Entre os estudos incluídos na presente revisão, a subescala de destreza manual do Movement Assessment Battery for Children-2 (MABC-2) foi a mais utilizada para a avaliação das habilidades motoras finas. Esta subescala é composta por duas tarefas de velocidade (enfiar contas, lançar moedas) e uma tarefa de precisão (desenhar trilha). Os outros instrumentos utilizados para a avaliação das habilidades motoras finas possuíam uma semelhança com a escala de destreza manual do MABC-2, onde o desempenho de tarefas manuais era direcionada representação da motricidade fina, como construções de blocos, cópias de desenhos e coordenação olho-mão.

Os marcos motores foram analisados através da obtenção de determinadas posturas como, o rolar de supino para prono, sentar sozinho, engatinhar e caminhar. Um dos estudos analisou relatórios dos pais e outro aplicou a Alberta Infant Motor Scale, que

mensura obtenções motoras do nascimento até a marcha independentes de crianças de 0 a 18 meses.

3.5 Aspectos Cognitivos

A respeito dos aspectos cognitivos, observou-se uma assiduidade entre as funções executivas, o desempenho acadêmico, quociente de inteligência e o desenvolvimento cognitivo. Entretanto, houve uma grande variação dos instrumentos utilizados para respectivas análises. Além disso, foi observado uma maior frequência para as funções executivas referente aos domínios cognitivos analisados, seguido do desempenho acadêmico.

Onze estudos avaliaram as funções executivas como um domínio cognitivo. As competências das funções executivas apresentaram uma semelhança nos artigos que a analisaram, determinando o controle de inibição, flexibilidade cognitiva, memória de trabalho e o planejamento e resolução de problemas como competências do funcionamento executivo. No desempenho acadêmico foi avaliado o desempenho geral em disciplinas educacionais, tendo uma repetibilidade referente as habilidades de leitura, linguagem, matemática e habilidades numéricas como sua representação nos estudos incluídos.

3.6 Habilidades Motoras e Aspectos Cognitivos

Na tabela 5 sumariza os autores, características motoras e cognitivas, ferramentas, e resultados obtidos. A maioria dos estudos revisados indicam que um melhor desempenho motor estava associado a melhores habilidades cognitivas.

Considerando as funções executivas como o domínio cognitivo mais frequente nos estudos desta revisão, foi observado na maioria dos artigos que melhores performance nas habilidades motoras grossas e finas estava associada positivamente a tarefas das funções executivas [15–17,22–24,29–31,33]. Em um dos estudos foi relatado que a relação entre as habilidades motoras grossas e as funções executivas pareceu ser consideravelmente maior do que as habilidades motoras finas [22]. Além disso, foi observado que as funções executivas eram mais envolvidas em atividades motoras complexas, e quanto mais simples a atividade, menos envolvimento das funções executivas ocorria [33]. Em contrapartida, foi observado, em um dos estudos, ausência de relação entre as funções executivas e a motricidade grossa [18].

Ademais, verificou-se que as habilidades motoras grossas e finas podem ser consideradas preditoras de um melhor desempenho acadêmico, indicando que crianças com habilidades motoras mais desenvolvidas apresentam benefícios para o desempenho escolar

[14,24,28,32,34,36,37]. Ao contrário do que foi relatado sobre a relação das funções executivas e as habilidades motoras, o desempenho acadêmico parece apresentar maior relação com as habilidades motoras finas [14,24,27,32].

Déficits de atenção foi associado a alterações negativas das habilidades motoras grossas e finas [28]. Em concordância, foi observado, em outro estudo, que problemas motores grossos apresentam relação com funções cognitivas reduzidas além de aumentar a suscetibilidade a atrasos motores [19]. Dos artigos

revisados, foi observado que menor quociente de inteligência é associado a idades mais avançadas para atingir marcos motores, como sentar e andar [25]. Em dois estudos, crianças classificadas dentro das expectativas referentes as funções cognitivas manifestavam maiores quocientes motores [20,26]. Em idades precoces, os níveis de habilidades motora grossa demonstrou uma associação positiva com o desenvolvimento cognitivo [13,21].

Tabela 5. Descrição dos procedimentos empregados na avaliação motora e cognitiva e sumário dos resultados da relação de ambos aspectos

Estudo	Habilidade motora/ Instrumento	Aspecto cognitivo/ Instrumento	Resultados
(VELDMAN <i>et al.</i> ,2019) [13]	Habilidade motoras grossas - <u>Escalas Motoras de Desenvolvimento Peabody - 2ª Edição (PDMS-2):</u> Três subtestes - estacionário, locomoção e manipulação de objetos.	Desenvolvimento cognitivo desenvolvimento sensório-motor, exploração e manipulação, relacionamento com objetos, formação de conceitos, memória e resolução de problemas Subteste cognitivo - Escala Bayley de Desenvolvimento - 3ª edição	Houve diferenças no desenvolvimento cognitivo para o quociente motor grosso, com as crianças do grupo acima da média apresentando melhor desenvolvimento cognitivo em comparação com as crianças do grupo médio e abaixo da média.
(HAN <i>et al.</i> , 2022) [16]	Habilidades motoras grossas - <u>Teste de Desenvolvimento Motor Grosso-2 (TGMD-2)</u> Dois subtestes: habilidades locomotoras e habilidades de controle de objetos.	Funções executivas controle da inibição, memória de trabalho e flexibilidade cognitiva Bateria de Cognição do NIH Toolbox	As habilidades locomotoras e as habilidades de controle de objetos foram correlacionadas positivamente com todos os três componentes da função executiva.
(COOK <i>et al.</i> , 2019) [29]	Habilidades motoras grossas - <u>TGMD-2</u> Dois subtestes: habilidades locomotoras e habilidades de controle de objetos.	Funções executivas inibição, flexibilidade e memória de trabalho Early Years Toolbox	As habilidades motoras grossas totais foram correlacionadas com todos os componentes da função executiva, exceto o controle de objetos que foi associado apenas à inibição e à memória de trabalho.
(FERNANDES <i>et al.</i> ,2022) [18]	Habilidades motoras grossas - <u>TGMD-2</u> Dois subtestes: habilidades locomotoras e habilidades de controle de objetos.	Funções executivas Planejamento, resolução de problemas e memória de trabalho - Torre de Hanói; Inibição de respostas prepotentes - Teste Day/Night Stroop;] Controle inibitório e autorregulação - Tarefa de Gratificação Atrasada	As medidas nas tarefas das funções executivas não se correlacionaram com as habilidades motoras grossas no grupo de pré-escolares eutróficos.

(OBERER;GASHA);ROEBERS, 2017) [22]	<p>Habilidades motoras finas enfiar contas, lanças moedas e desenhar trilhas)</p> <p>-</p> <p>Manual da Movement Assessment Battery for Children-2 (M-ABC-2)</p> <p>Habilidades motoras grossas (saltar e mover-se lateralmente e suporte unilateral) - <u>Körperkoordinationstest für Kinder (KTK).</u></p>	<p>Funções executivas Inibição e mudanças - Versão adaptada da tarefa de flanqueamento</p> <p>Atualização - Tarefa de recordação reversa de cores.</p>	<p>As tarefas motoras grossas e finas correlacionaram-se positivamente com as tarefas de funções executivas; A relação entre habilidades motoras grossas e funções executivas demonstrou ser ligeiramente maior do que entre habilidades motoras finas e funções executiva.</p>
(VIEGAS <i>et al.</i> , 2023) [19]	<p>Habilidades motoras grossas - TGMD-2</p> <p>Dois subtestes: habilidades locomotoras e habilidades de controle de objetos.</p>	<p>Função cognitiva global</p> <p>Cinco domínios: Orientação, atenção e memória de trabalho, memória episódica, linguagem e práxis construtiva - O Mini Exame do Estado Mental (MEEM) – Versão pediátrica</p>	<p>A maioria das crianças que apresentavam problemas motores grossos apresentaram função cognitiva abaixo da média para suas faixas etárias; As crianças com função cognitiva abaixo da média para sua faixa etária são 5,72 vezes mais suscetíveis a apresentar atraso na motricidade grossa.</p>
(ESCOLANO-PÉREZ; HERRERO-NIVELA; LOSADA, 2020) [27]	<p>Motricidade grossa Habilidades locomotoras, salto, equilíbrio dinâmico e estático, habilidades de controles de objetos propulsivas e receptivas</p> <p>Motricidade fina Coordenação e integração motora fina</p>	<p>Competências acadêmicas: Alfabetização, leitura e competência geral - Teste de aspectos instrumentais básicos: leitura, escrita e conceitos numéricos (PAIB – 1) – 1º ano do ensino básico</p>	<p>Apenas as capacidades motoras finas, e não as grossas, das crianças pré-escolares estão associadas às suas competências acadêmicas 1 ano depois, quando os alunos estavam em no 1º ano do Ensino Básico.</p>
(GASHA) <i>et al.</i> , 2019) [23]	<p>Observação sistemática – <u>Circuito motor</u> (observação e gravação) – Último ano do EPI</p> <p>Habilidades motoras finas encaixar e lanças moedas, desenhar trilhas-</p> <p>Manual da Movement Assessment Battery for Children-2 (M-ABC-2)</p> <p>Habilidades motoras grossas (saltar e mover-se lateralmente e apoio unipodal) - Teste de coordenação corporal (KTK)</p>	<p>Habilidades numéricas básicas - Reta numérica simbólica e não simbólica;</p> <p>Funções executivas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inibição e comutação - Tarefa de Flanker modificada; - Memória de trabalho visuoespacial - Bateria de testes de memória operacional para crianças . 	<p>A maioria das tarefas de competências numéricas básicas correlacionaram-se altamente entre si, funções executivas e habilidades motoras. No entanto, a comparação de magnitude não simbólica correlacionou-se apenas com habilidades motoras.</p>

Funções cognitivas:

- Tempo de reação, atenção sustentada, memória de trabalho espacial e aprendizagem de associados emparelhados -

Testes da Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery

-Memória de palavras -Teste de memória de palavras de recordação livre;

Desempenho acadêmico - Proficiência em matemática e compreensão de leitura.

T1 e T2: Escalas Bayley de Desenvolvimento Infantil Segunda e Terceira Edições: [Índice de desenvolvimento mental](#)

T3: Funções executivas:

- Memória de trabalho - tarefa de extensão;

- Controle inibitório cognitivo - tarefa dia-noite;

Controle cognitivo emocional - Presente embrulhado e em saco.

Habilidades de linguagem – Bateria de avaliação da linguagem oral e Avaliação neuropsicológica.

Problemas atenção, emocionais, comportamentais e sociais – Questionário de pontos fortes e dificuldades.

- **Experimento 1:**

Inibição de respostas –

Tarefa de dia/noite e tarefa de grama/neve;

Representação figurativa, detalhe figurativo e realismo intelectual – Tarefa de desenho.

- **Experimento 2:**

Inibição de respostas – Tarefa de dia/noite, tarefa de grama/neve e

tarefa de batidas.

Inteligência geral – Escala britânica de vocabulário de imagens;

O desempenho nas tarefas de motricidade fina e grossa foi associado ao melhor desempenho em cada um dos testes cognitivos (exceto para a associação entre habilidades motoras grossas e PAL), bem como também foram associados a um melhor desempenho acadêmico.

As habilidades motoras precoces (1 ano e 2 anos de idade) podem prever a memória de trabalho aos 3 anos de idade através da capacidade cognitiva geral aos 2 anos de idade; Além disso, as habilidades motoras finas/grossas aos 2 anos de idade podem prever diretamente a controle inibitório cognitivo aos 3 anos de idade.

Sintomas de desatenção do SDQ aos 3 anos foi associada a alterações negativas nas habilidades motoras.

- **Experimento 1:**

A capacidade inibitória e a capacidade motora fina estavam associadas, e esta associação previu o desempenho nas escalas de representação figurativa e detalhe figurativo.

- **Experimento 2:**

A inibição da resposta e o controle motor fino dos pré-escolares estavam associados, porém esta relação não se estendeu ao controle motor grosso.

Habilidades motoras finas -

Tarefa de rastreamento de precisão visuomotora

Habilidades motoras grossas -

Parede de coordenação de três estágios

T1 e T2: Habilidades motoras finas e grossas:

Escalas Bayley de Desenvolvimento Infantil Segunda e Terceira Edições: [Índice de desenvolvimento psicomotor](#)

3 e 5 - 6 anos:

Motricidade fina -

Questionário de idades e fases (ASQ) e Tarefa de copy design (NEPSY);

Motricidade grossa -

Questionário de idades e fases (ASQ);

Habilidade motora fina – Escala motora de desenvolvimento Peabody

- **Experimento 2:**

Habilidade motoras finas e grossas - Escala motora de desenvolvimento Peabody

(GEERTSEN *et al.*,2016) [30]

(WU *et al.*, 2017) [17]

(PEYRE *et al.*, 2019) [28]

(SIMPSON *et al.*, 2019) [31]

(CAPUTE <i>et al.</i> , 1985) [25]	<p>Obtenção de marcos motores - Relatório dos pais</p> <p>(Rolar de supino a prono, sentar sozinho, engatinhar e caminhar).</p>	<p><u>Aos 3 anos de idade:</u></p> <p>QI - Formulário Stanford Binet Intelligence</p>	<p>Houve uma relação inversa entre QI e desempenho motor (no grupo de QI mais baixo, as crianças tinham a idade mais avançada para atingir marcos motores).</p>
(BELKA; WILLIAMS, 1979) [26]	<p>Comportamento perceptivo- motor grosso - Teste Motor de Cashin</p> <p>Comportamento perceptivo- motor fino - Teste Shape-0-Ball, teste de Bender-Gestalt e subteste de coordenação olho-motora do Teste de Desenvolvimento de Percepção Visual Frostig.</p>	<p>Domínio cognitivo Teste Primary Reading Profiles Level I e II; Teste Curto de Maturidade Mental da Califórnia; Testes de Prontidão Metropolitana e Teste de Conceitos Básicos de Boehm.</p>	<p>Uma tarefa perceptivo-motora fina parece ser contribuinte para a predição do desempenho cognitivo de crianças de idade pré escolar e jardim de infância; Em crianças da primeira série e segunda série nenhuma variável do domínio perceptivomotor foi preditor do desempenho cognitivo.</p>
(FLORES <i>et al.</i> , 2023) [32]	<p>Habilidades motoras finas - Teste de cordão de rosqueamento adaptado (TBT-AD) e Teste de Integração Visuomotora Adaptado (VMI-AD);</p> <p>Habilidades motoras grossas - MABC-2 (habilidades manuais com bola e equilíbrio).</p>	<p>Habilidades matemáticas - Escala Weschler de inteligência pré-escolar e primária – revista (WPPSI-R). (Habilidades quantitativas, numéricas e de resolução de problemas).</p>	<p>Apenas o teste VMI-AD associou-se positivamente com o teste aritmético WPPSI-R; Houve uma associação positiva e significativa entre habilidades motoras brutas e VMI;</p>
(NOBRE <i>et al.</i> , 2023) [20]	<p>Habilidades motoras grossas - TGMD-2</p>	<p>Domínios da função cognitiva - Mini-Mental for Children –MMC adaptado.</p> <p>- 5 domínios: orientação, atenção e memória de trabalho, memória episódica, linguagem e práxis construtiva.</p>	<p>Pré-escolares classificados como iguais ou dentro da idade esperada no teste cognitivo foram superiores aos escores alcançados no teste motor para aquelas crianças classificadas abaixo das expectativas no teste cognitivo.</p>
(MAURER;ROEBERS,2019) [35]	<p>Coordenação motora fina - Subescala Destreza Manual da Movement Assessment Battery for Children-2 ;</p> <p>Coordenação motora grossa:</p> <p>- Teste de coordenação corporal - Körperkoordinationstest Für Kinder, KTK (tarefas de velocidade: Saltar e mover-se lateralmente);</p> <p>MABC-2 (Tarefa de equilíbrio: One-Leg-Stand).</p>	<p>Funções executivas:</p> <p>Inibição – Tarefa de flanker modificada;</p> <p>Atualização - tarefa de atualização pictórica adaptada baseada em computador;</p> <p>Mudança - Tarefa adaptada de Advanced Dimensional Change Card Sort.</p>	<p>O fator motor fino fácil foi significativamente correlacionado com as FEs, mas não motor grosso fácil;</p> <p>Os fatores motores finos e grossos difíceis estavam similarmente associados às FEs, tendo o fator motor grosso difícil foi mais fortemente associado às FEs.</p>

(MACDONALD <i>et al.</i> , 2020) [14]	Proficiência motora fina e grossa - Formulário Completo do Teste de Proficiência Motora BruininksOseretsky .	Desempenho acadêmico em matemática e leitura - Wechsler Individual Achievement Test 2nd Edition Australian Standardized Edition.	A proficiência motora geral das crianças do 1º ano estava significativamente relacionada com a sua capacidade matemática e da capacidade de leitura.
(BRUIJN, DE <i>et al.</i> , 2019) [34]	Habilidades motoras fundamentais - BOT-2 (coordenação olho-mão) e KTK (Habilidades locomotoras - deslocamento de plataforma e salto lateral).	Desempenho acadêmico em leitura, matemática e ortografia - Testes de desempenho padronizados de monitorização académica infantil	Verificou-se que as habilidades motoras fundamentais foram preditores mais fortes do desempenho acadêmico, indicando que crianças com habilidades motoras mais desenvolvidas tiveram melhor desempenho escolar.
(LI <i>et al.</i> , 2022) [15]	Habilidades motoras grossas - TGMD-2 (Habilidades locomotoras e controle de objetos)	Funções executivas: Controle de inibição - Tarefa Children's Stroop; Flexibilidade cognitiva - Tarefa Dimensional Change Card Sort; Memória de trabalho - Tarefas Beads.	As habilidades motoras grossas foram significativamente correlacionadas com sa funções executiva s; O modelo de regressão também mostrou que a motricidade grossa esteve positivamente associada a função executiva.
(MACHADO <i>et al.</i> , 2017) [21]	Aquisição de motoras - Alberta Infant Motor Scale (prono, supino, sentado e em pé); Desenvolvimento motor - Bayley Scales of Infant and Toddler Development 3rd ed,	Desenvolvimento cognitivo - Bayley Scales of Infant and Toddler Development 3rd ed (Bayley-III),	O desenvolvimento motor amplo também foi um preditor do aspecto cognitivo durante os primeiros anos de vida, porém, essa correlação reduziu com o passar do tempo .

Abreviações. PAL, Aprendizagem de associados emparelhados; WM, Memória de trabalho; QI, Índice de inteligência

4 DISCUSSÃO

A presente revisão teve como objetivo fornecer uma visão geral dos estudos que fornecem evidências de uma relação entre habilidades motoras e aspectos cognitivos em crianças de 0 a 9 anos de idade. Os resultados demonstraram que há uma relação positiva entre as habilidades motoras e domínios cognitivos, onde quanto melhor o desempenho motor melhor a cognição, relacionando uma maior afinidade das habilidades motoras com o funcionamento executivo e o desempenho acadêmico.

A relação entre as habilidades motoras e aspectos cognitivos observadas no presente estudo podem ser compreendidas através de uma visão neuropsicológica, que atribui essa relação devido à sobreposição de redes neurais que são determinantes tanto para domínios cognitivos quanto para habilidades motoras [4]. Ambas funções são controladas por áreas cerebrais que envolvem os lobos frontais, cerebelo e os núcleos da base [38]. As ações motoras envolvem a ativação do cerebelo, que também é coativado durante atividades cognitivas. Da mesma forma, atividades cognitivas ativa

o córtex cerebral, que também é coativado em ações motoras [39].

As habilidades motoras e cognitivas seguem um cronograma de desenvolvimento semelhante, considerando os primeiros anos de vida como os mais importantes e de um rápido desenvolvimento [40,41]. Os primeiros anos de vida é determinado como um período crucial para o crescimento e desenvolvimento infantil [42,43]. Tal efeito pode ocorrer devido ao fato desse período ser considerado crítico para o desenvolvimento de todos os sistemas e tecidos, inclusive do sistema nervoso, que apresenta uma alta plasticidade durante esse momento da vida [44]. A base para o comportamento de habilidades motoras durante esse período é estabelecido através do desenvolvimento reações e reflexos infantis e atividades motoras rudimentares [45]. Além disso, de acordo com Piaget, o desenvolvimento motor e cognitivo estão associados por meio do “pensamento pelo movimento corporal” [46].

As funções executivas são caracterizadas como um conjunto de processos cognitivos de ordem superior que ajudam a direcionar e gerenciar a atenção,

pensamentos e ações [47]. Além do mais, possui um papel essencial em vários processos cognitivos fundamentais para o desempenho acadêmico, principalmente em matemática, uma vez que envolve aspectos executivos essenciais, como inibição e flexibilidade cognitiva [48,49].

A relação entre as funções executivas e a habilidades motoras aqui encontradas, implica que tanto as funções cognitivas quanto as motoras necessitam do aprendizado de ações sequências, que são aprimoradas por redes especializadas que envolvem o funcionamento executivo e o controle motor, que se cruzam e cooperam entre si [10,50]. Uma vez que a produção motora envolve processos mentais devido à necessidade do planejamento, preparação, antecipação, além de funções perceptuais e do retorno que o próprio movimento gera para o sistema nervoso, afim de contribuir na interpretação, planejamento e na execução motora subsequente [51].

As habilidades motoras também foram positivamente relacionadas à memória de trabalho visuoespacial e menores lapsos de atenção de acordo com os resultados encontrados na atual revisão. Dentre as variadas habilidades cognitivas, o controle atencional é considerado um componente básico para um bom desempenho cognitivo-motor [52,53]. A memória de trabalho determinada como um dos componentes das funções executivas, requer a habilidade de manter e manipular informações mentais temporariamente para execução e aprendizagem de habilidades, como a aprendizagem motora [54]. Além disso, também está relacionada ao feedback em relação aos movimentos no ambiente, beneficiando os aspectos do desempenho motor, uma vez que sofre influência da estimulação visual, indicando assim que as habilidades de memória estão conectadas ao planejamento e ao controle do movimento [55,56].

A ativação de redes neurais relacionadas a domínios cognitivos e habilidades motoras envolvem a complexidade da tarefa a ser executada, aquelas poucas praticadas, novas e difíceis necessitam ser mais focadas, o que pode promover maior atividade nas regiões do cerebelo e pré-frontal [57]. Corroborando aos achados da presente revisão a respeito de um maior envolvimento das funções executivas em atividades motoras difíceis.

Acredita-se que déficits motores ocorram devido à imaturidade de regiões de controle cortical, que impedem as informações serem adequadamente transmitidas ao restante do corpo, sendo necessária a existência de uma integração recíproca entre os sistemas motores e cognitivos dinâmicos [55,58]. Contudo, o movimento facilita a plasticidade cerebral e

o desenvolvimento de redes associativas inter-regionais e, portanto, influência a interação cognitivo-motora [4].

A exposição a estímulos ambientais e interações interpessoais promovidas através do movimento potencializa a experiência motora, o que, por sua vez, potencializa mudanças estruturais e funcionais de moléculas, sinapses e células do sistema nervoso, promovendo melhorias em tarefas cognitivas [59]. Enquanto habilidades cognitivas como atenção seletiva e memória de trabalho espacial são importantes para a discriminação de estímulos, seleção e programação de respostas durante a tomada de decisão motora [60]. Considerando as informações apresentadas, podemos considerar que há uma relação recíproca entre habilidades motoras e domínios cognitivos, em que ambas possuem influência uma sobre a outra.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados sugerem que as ações motoras envolvem implicitamente várias funções cognitivas integradas que permitem o desempenho motor bem sucedido, assim como uma interação de diferentes regiões cerebrais que contribui na otimização de habilidades cognitivas como a função executiva e o desempenho acadêmico. Os sistemas neurais que envolvem o desenvolvimento motor podem desempenhar uma função sobre o desenvolvimento e operação de processos cognitivos, em que essa relação reflete tanto em habilidades motoras otimizadas, quanto em melhores funções cognitivas.

Os resultados desta revisão são interessantes no contexto de programas de treinamento que visem contribuir na otimização das habilidades motoras e/ou cognitivas em crianças, onde as habilidades motoras grossas e finas devem ser estimuladas em programas de intervenções motoras para desempenhar benefícios superiores e vice-versa.

APOIO FINANCEIRO

Este estudo foi financiado, em parte, pela Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE).

REFERÊNCIAS

- [1] Isaacs EB. Neuroimaging, a new tool for investigating the effects of early diet on cognitive and brain development. *Front Hum Neurosci* 2013;7.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00445>.
- [2] Min J, Zhao Y, Slivka L, Wang Y. Double burden of diseases worldwide:

- coexistence of undernutrition and overnutrition-related non-communicable chronic diseases. *Obesity Reviews* 2018;19:49–61. <https://doi.org/10.1111/obr.12605>.
- [3] van der Fels IMJ, te Wierike SCM, Hartman E, Elferink-Gemser MT, Smith J, Visscher C. The relationship between motor skills and cognitive skills in 4–16 year old typically developing children: A systematic review. *Sci Med Sport* 2015;18:697–703. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.09.007>.
- [4] Leisman G, Moustafa A, Shafir T. Thinking, Walking, Talking: Integratory Motor and Cognitive Brain Function. *Front Public Health* 2016;4. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00094>.
- [5] van der Fels IMJ, Smith J, de Bruijn AGM, Bosker RJ, Königs M, Oosterlaan J, et al. Relations between gross motor skills and executive functions, controlling for the role of information processing and lapses of attention in 8–10 year old children. *PLoS One* 2019;14:e0224219. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224219>.
- [6] Floyer-Lea A, Matthews PM. Changing Brain Networks for Visuomotor Control With Increased Movement Automaticity. *J Neurophysiol* 2004;92:2405–12. <https://doi.org/10.1152/jn.01092.2003>.
- [7] Han X, Zhao M, Kong Z, Xie J. Association between fundamental motor skills and executive function in preschool children: A cross-sectional study. *Front Psychol* 2022;13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.978994>.
- [8] McClelland MM, Cameron CE. Developing together: The role of executive function and motor skills in children's early academic lives. *Early Child Res Q* 2019;46:142–51. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2018.03.014>.
- [9] Hanakawa T. Rostral premotor cortex as a gateway between motor and cognitive networks. *Neurosci Res* 2011;70:144–54. <https://doi.org/10.1016/j.neures.2011.02.010>.
- [10] Leisman G, Braun-Benjamin O, Melillo R. Cognitive-motor interactions of the basal ganglia in development. *Front Syst Neurosci* 2014;8. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00016>.
- [11] Roebens CM, Kauer M. Motor and cognitive control in a normative sample of 7-year-olds. *Dev Sci* 2009;12:175–81. <https://doi.org/10.1111/j.14677687.2008.00755.x>.
- [12] Haartsen R, Jones EJ, Johnson MH. Human brain development over the early years. *Curr Opin Behav Sci* 2016;10:149–54. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.05.015>.
- [13] Veldman SLC, Santos R, Jones RA, Sousa-Sá E, Okely AD. Associations between gross motor skills and cognitive development in toddlers. *Early Hum Dev* 2019;132:39–44. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2019.04.005>.
- [14] Macdonald K, Milne N, Orr R, Pope R. Associations between motor proficiency and academic performance in mathematics and reading in year 1 school children: a cross-sectional study. *BMC Pediatr* 2020;20:69. <https://doi.org/10.1186/s12887-020-1967-8>.
- [15] Li Q, Wang Q, Xin Z, Gu H. The Impact of Gross Motor Skills on the Development of Emotion Understanding in Children Aged 3–6 Years: The Mediation Role of Executive Functions. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19:14807. <https://doi.org/10.3390/ijerph192214807>.
- [16] Han X, Zhao M, Kong Z, Xie J. Association between fundamental motor skills and executive function in preschool children: A cross-sectional study. *Front Psychol* 2022;13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.978994>.
- [17] Wu M, Liang X, Lu S, Wang Z. Infant motor and cognitive abilities and subsequent executive function. *Infant Behav Dev* 2017;49:204–13. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2017.09.005>.
- [18] Fernandes AC, Viegas AA, Lacerda ACR, Nobre JNP, Morais RLDS, Figueiredo PHS, et al. Association between executive functions and gross motor skills in overweight/obese and eutrophic preschoolers: cross-sectional study. *BMC Pediatr* 2022;22:498. <https://doi.org/10.1186/s12887-022-03553-2>.
- [19] Viegas AA, Mendonça VA, Pontes Nobre JN, Souza Morais RL De, Fernandes AC, Oliveira Ferreira F De, et al. Associations of physical activity and cognitive function with gross motor skills in preschoolers: Cross-sectional study. *J Mot Behav* 2023;55:564–79. <https://doi.org/10.1080/00222895.2021.1897508>.
- [20] Nobre JNP, Morais RLDS, Viegas AA, Fernandes AC, Scheidt Figueiredo PH, Costa HS, et al. Factors Associated with Motor Competence in Preschoolers from a Brazilian Urban Area. *Child Youth Care Forum* 2023;52:721–36. <https://doi.org/10.1007/s10566-022-09708-7>.
- [21] Machado D, Valentini NC, Müller AB, Pereira KRG. Desenvolvimento motor, cognição e linguagem em lactentes que frequentam creches. *Sci Med (Porto Alegre)* 2017;27:27993. <https://doi.org/10.15448/19806108.2017.4.27993>.
- [22] Oberer N, Gashaj V, Roebens CM. Motor skills in kindergarten: Internal structure, cognitive correlates and relationships to background variables. *Hum Mov Sci* 2017;52:170–80. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.02.002>.
- [23] Gashaj V, Oberer N, Mast FW, Roebens CM. Individual differences in basic numerical skills: The role of executive functions and motor skills. *J Exp Child Psychol* 2019;182:187–95. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.01.021>.
- [24] Cameron CE, Brock LL, Murrah WM, Bell LH, Worzalla SL, Grissmer D, et al. Fine Motor Skills and Executive Function Both Contribute to Kindergarten Achievement. *Child Dev* 2012;83:1229–44. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2012.01768.x>.
- [25] Capute AJ, Shapiro BK, Palmer FB, Ross A, Wachtel RC. Cognitive-Motor Interactions. *Clin Pediatr (Phila)* 1985;24:671–5. <https://doi.org/10.1177/000992288502401201>.

- [26] Belka DE, Williams HG. Prediction of Later Cognitive Behavior from Early School Perceptual-Motor, Perceptual, and Cognitive Performances. *Percept Mot Skills* 1979;49:131–41. <https://doi.org/10.2466/pms.1979.49.1.131>.
- [27] Escolano-Pérez E, Herrero-Nivela ML, Losada JL. Association Between Preschoolers' Specific Fine (But Not Gross) Motor Skills and Later Academic Competencies: Educational Implications. *Front Psychol* 2020;11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01044>.
- [28] Peyre H, Albaret J-M, Bernard JY, Hoertel N, Melchior M, Forhan A, et al. Developmental trajectories of motor skills during the preschool period. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 2019;28:1461–74. <https://doi.org/10.1007/s00787-019-01311-x>.
- [29] Cook CJ, Howard SJ, Scerif G, Twine R, Kahn K, Norris SA, et al. Associations of physical activity and gross motor skills with executive function in preschool children from low-income South African settings. *Dev Sci* 2019;22. <https://doi.org/10.1111/desc.12820>.
- [30] Geertsen SS, Thomas R, Larsen MN, Dahn IM, Andersen JN, Krausejensen M, et al. Motor Skills and Exercise Capacity Are Associated with Objective Measures of Cognitive Functions and Academic Performance in Preadolescent Children. *PLoS One* 2016;11:e0161960. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161960>.
- [31] Simpson A, Al Ruwaili R, Jolley R, Leonard H, Geeraert N, Riggs KJ. Fine Motor Control Underlies the Association Between Response Inhibition and Drawing Skill in Early Development. *Child Dev* 2019;90:911–23. <https://doi.org/10.1111/cdev.12949>.
- [32] Flores P, Coelho E, Mourão-Carvalho I, Forte P. Relationships between Math Skills, Motor Skills, Physical Activity, and Obesity in Typically Developing Preschool Children. *Behavioral Sciences* 2023;13:1000. <https://doi.org/10.3390/bs13121000>.
- [33] Maurer MN, Roebbers CM. Towards a better understanding of the association between motor skills and executive functions in 5- to 6-year-olds: The impact of motor task difficulty. *Hum Mov Sci* 2019;66:607–20. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.06.010>.
- [34] de Bruijn AGM, Kostons DDNM, van der Fels IMJ, Visscher C, Oosterlaan J, Hartman E, et al. Importance of aerobic fitness and fundamental motor skills for academic achievement. *Psychol Sport Exerc* 2019;43:200–9. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2019.02.011>.
- [35] Maurer MN, Roebbers CM. Towards a better understanding of the association between motor skills and executive functions in 5- to 6-year-olds: The impact of motor task difficulty. *Hum Mov Sci* 2019;66:607–20. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.06.010>.
- [36] Escolano-Pérez E, Herrero-Nivela ML, Losada JL. Association Between Preschoolers' Specific Fine (But Not Gross) Motor Skills and Later Academic Competencies: Educational Implications. *Front Psychol* 2020;11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01044>.
- [37] Geertsen SS, Thomas R, Larsen MN, Dahn IM, Andersen JN, Krausejensen M, et al. Motor Skills and Exercise Capacity Are Associated with Objective Measures of Cognitive Functions and Academic Performance in Preadolescent Children. *PLoS One* 2016;11:e0161960. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161960>.
- [38] Leisman G, Melillo R. The basal ganglia: motor and cognitive relationships in a clinical neurobehavioral context. *Rev Neurosci* 2013;24. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2012-0067>.
- [39] Diamond A. Close Interrelation of Motor Development and Cognitive Development and of the Cerebellum and Prefrontal Cortex. *Child Dev* 2000;71:44–56. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00117>.
- [40] Gale CR. Critical periods of brain growth and cognitive function in children. *Brain* 2004;127:321–9. <https://doi.org/10.1093/brain/awh034>.
- [41] Houwen S, van der Veer G, Visser J, Cantell M. The relationship between motor performance and parent-rated executive functioning in 3- to 5-year-old children: What is the role of confounding variables? *Hum Mov Sci* 2017;53:24–36. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.12.009>.
- [42] Hohwü L, Li J, Olsen J, Sørensen TIA, Obel C. Severe Maternal Stress Exposure Due to Bereavement before, during and after Pregnancy and Risk of Overweight and Obesity in Young Adult Men: A Danish National Cohort Study. *PLoS One* 2014;9:e97490. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097490>.
- [43] Lumey L, Stein AD, Kahn HS, Romijn J. Lipid profiles in middle-aged men and women after famine exposure during gestation: the Dutch Hunger Winter Families Study. *Am J Clin Nutr* 2009;89:1737–43. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.27038>.
- [44] Cao-Lei L, Elgbeili G, Szyf M, Laplante DP, King S. Differential genomewide DNA methylation patterns in childhood obesity. *BMC Res Notes* 2019;12:174. <https://doi.org/10.1186/s13104-019-4189-0>.
- [45] Gallahue DL, Ozmun JC. Understanding motor development: Infants, children, adolescents, adults. (No Title) n.d.
- [46] Piaget J, Cook M. The origins of intelligence in children. vol. 8. International Universities Press New York; 1952.
- [47] Best JR, Miller PH. A Developmental Perspective on Executive Function. *Child Dev* 2010;81:1641–60. <https://doi.org/10.1111/j.14678624.2010.01499.x>.

- [48] Best JR, Miller PH, Naglieri JA. Relations between executive function and academic achievement from ages 5 to 17 in a large, representative national sample. *Learn Individ Differ* 2011;21:327–36. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2011.01.007>.
- [49] Cragg L, Gilmore C. Skills underlying mathematics: The role of executive function in the development of mathematics proficiency. *Trends Neurosci Educ* 2014;3:63–8. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.12.001>.
- [50] Keele SW, Ivry R, Mayr U, Hazeltine E, Heuer H. The cognitive and neural architecture of sequence representation. *Psychol Rev* 2003;110:316–39. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.110.2.316>.
- [51] Haggard P. Conscious intention and motor cognition. *Trends Cogn Sci* 2005;9:290–5. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.04.012>.
- [52] Lenroot RK, Giedd JN. Brain development in children and adolescents: Insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neurosci Biobehav Rev* 2006;30:718–29. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2006.06.001>.
- [53] Sowell ER, Thompson PM, Welcome SE, Henkenius AL, Toga AW, Peterson BS. Cortical abnormalities in children and adolescents with attention-deficit hyperactivity disorder. *The Lancet* 2003;362:1699–707. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(03\)14842-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)14842-8).
- [54] Chan JSY, Wu Q, Liang D, Yan JH. Visuospatial working memory training facilitates visually-aided explicit sequence learning. *Acta Psychol (Amst)* 2015;161:145–53. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.09.008>.
- [55] Alloway TP. Working memory, reading, and mathematical skills in children with developmental coordination disorder. *J Exp Child Psychol* 2007;96:20–36. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2006.07.002>.
- [56] van Abswoude F, Buszard T, van der Kamp J, Steenbergen B. The role of working memory capacity in implicit and explicit sequence learning of children: Differentiating movement speed and accuracy. *Hum Mov Sci* 2020;69:102556. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.102556>.
- [57] Diamond A. Close Interrelation of Motor Development and Cognitive Development and of the Cerebellum and Prefrontal Cortex. *Child Dev* 2000;71:44–56. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00117>.
- [58] Policastro F, Accardo A, Marcovich R, Pelamatti G, Zoia S. Relation between Motor and Cognitive Skills in Italian Basketball Players Aged between 7 and 10 Years Old. *Sports* 2018;6:80. <https://doi.org/10.3390/sports6030080>.
- [59] Shi P, Feng X. Motor skills and cognitive benefits in children and adolescents: Relationship, mechanism and perspectives. *Front Psychol* 2022;13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1017825>.
- [60] Wang B, Guo W, Zhou C. Selective enhancement of attentional networks in college table tennis athletes: a preliminary investigation. *PeerJ* 2016;4:e2762. <https://doi.org/10.7717/peerj.2762>. da Saúde, 2018.