

幼儿视动整合影响早期数学能力的 可视化分析与系统综述

李昱岑 何锦浩 徐冬苗 刘 鑫

四川大学体育科学研究所，成都

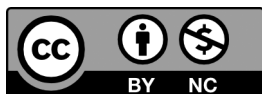
摘 要 | 早期数学能力作为幼儿认知发展的重要表现与动作发展过程中的视动整合密切相关。研究通过 CiteSpace 对相关文献进行可视化计量分析，并在对该领域研究作出全面检索与荟萃筛选后进行全面深入的系统性综述。已有研究基本证实二者间的关系，但由于系统化视动整合干预手段的欠缺，实验研究停滞，致使二者间关联的具体机制还尚不明确。同时，由于视动整合与精细动作技能的隶属关系界定存在争议，导致该领域研究观点在动作发展的宏观层面难以进一步延伸与推论。对未来研究提出展望：（1）积极推进本土化研究；（2）厘清视动整合与精细动作技能的从属关系；（3）提出系统化的幼儿视动整合干预方法；（4）深挖视动整合影响早期数学能力的作用机制。

关键词 | 视动整合；早期数学能力；幼儿；动作发展；认知

Copyright © 2025 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



幼儿早期数学能力泛指 0~6 岁学前儿童数学学习与发展的各个方面能力。早期数学能力关注儿童对不同数、集合等概念的感知以及面对运算问题时的运算方法的选择，它是儿童未来数学学习的基础，能有效预测儿童日后数学能力的发展^[1-3]。早期数学能力是认知发展的重要方面，能通过早期数学能

力的发展有效反映儿童认知发展情况，因此，对幼儿早期发展十分重要^[4]。近年来，有关早期数学能力发展的研究除了从数学本身入手外，越来越多研究者开始尝试从动作发展影响认知发展的角度挖掘提升早期数学能力的可能。诸多研究已经关注到视动整合能力与早期数学能力之间可能存在的关联。视动整合

基金项目：国家社会科学基金一般项目（24BTY092）。

通讯作者：刘鑫，博士，四川大学体育科学研究所教授，研究方向：儿童体育教育。

文章引用：李昱岑，何锦浩，徐冬苗，等. 幼儿视动整合影响早期数学能力的可视化分析与系统综述 [J]. 中国体育研究，2025，7（1）：21-33.

<https://doi.org/10.35534/scps.0701004>

(Visual-motor Integration)，也可以称为视觉运动整合，指个体有针对性地进行操作活动时视觉感知与手部运动间的协调和配合的能力^[5, 6]。视动整合一方面是个体完成写字、绘图等活动的重要基础，也是如持拍击打、投掷等操控类运动技能发展的重要影响因素。20世纪60年代，布雷齐等人(Brich et al., 1967)的研究发现有些儿童尽管视觉能力、动作能力都很正常，但他们却无法顺利完成写字、摹画等活动，他们认为这是这部分儿童视觉能力与动作能力整合的过程出现了问题，由此提出了视动整合能力的概念^[7]。视动整合与早期数学能力在内的学业能力之间关系的探讨实则起源于儿童学习障碍的寻根研究，学习障碍(learning disabilities, LD)是一种发育性神经障碍，它是指学龄阶段的儿童在阅读、书写、计算或数学推理等基本学业技能上存在持续困难，且学业能力远低于其年龄段的平均水平，并对学业成就、职业能力或日常生活产生显著影响。早在20世纪80年代，西格尔等人(Siegel, 1983)的研究结果表明，算术学习存在障碍的儿童其视动整合能力发展也较为滞后^[8]，并且2000年在格罗贝克(Grobeck, 2000)针对学习障碍儿童与非学习障碍儿童的对比研究中也发现，两类儿童对于视动整合任务的完成情况存在显著差异，同时该差异可能源于学习障碍儿童空间认知机制存在发育延迟的现象^[9]，四年后，巴恩哈特(Barnhardt, 2005)的研究也观察到了与格罗贝克(Grobeck, 2000)类似的结果，他发现视动整合表现较差的儿童在涉及空间组织的数学任务中也表现较差^[10]。因此在早年针对学习障碍的研究中，研究者已逐渐窥探到视动整合在学业能力发展中的重要作用，尤其是其对数学能力的影响。近年来，该领域的研究愈加细化，学习障碍的界定也被细化，例如皮特斯等人(Pieters, 2012)就专门针对数学学习障碍的儿童进行了研究，其结果表明此类儿童在视觉—运动整合和运动协调方面也明显存在更多问题^[11]。同时，正常儿童也成了研究者关注的群体，因为研究者认为探明正常儿童视动整合发展与其认知发展和学业表现间的关系对指导儿童的身心全面发展也是极具意义的。因此，为了更为全面和深入地透析视动整合与早期数学能力发展之间的联系，并进一步挖掘动作发展与认知发展以及学业发展之间的联系，研究采用文献资料法，基于文献计量学对该领域多个数据库的出版文献进行定量化分析，并绘制可视化知识图谱，同时进一步筛选高质量研究进行系统综述，以定量与定性相结合的方式全面梳理并深入分析国内外针对视动整合能力与早期数学能力的相关研究，为进一步揭示二者间具体作用机制和其他相关深入研究打下基础，同时对动作发展与认知发展的相关理论进行衍生与补充，为动作发展影响认知发展的未来研究

提供新的思路与启示。

1 研究方法

1.1 文献计量分析方法

文献计量分析是在软件工具的协助下，结合统计分析与计量分析的方法对出版文献中的信息进行量化与归类，并对信息进行可视化的研究手段。本研究将综合CiteSpace 6.3软件进行文献的计量分析与知识图谱的绘制，CiteSpace是由陈超美教授基于JAVA开发的一款专注于科学文献的可视化分析工具，它能够处理和分析大规模的引文数据，生成关键词共现图谱、时间线视图、聚类图等^[12]。本研究将主要对数据库中检索到的文献的发文量、共被引情况，以及关键词进行深度分析，并绘制可视化知识图谱，探究研究历史进程中发文量的时间序列分布，挖掘共被引特征背后的领域热点以及识别关键词

1.2 数据来源及文献检索策略

本研究先在Web of Science核心集合数据库中通过检索词进行检索，检索时间设置为建库至今，检索式如下：

- #1 TS= (Visual- motor integration)
- #2 TS= (Preschool children or Children)
- #3 TS= (Math or Mathematics)
- #4= (#1 and #2 and #3)

本研究对Web of Science中检索且剔除重复文献进行计量分析，此外，为保证系统综述文献纳入的全面性进一步补充检索“CNKI中国知网”“维普”、两个中文数据库以及“EMbase”“Pubmed”“APA PsycNet”三个英文数据库，其中中文数据库所用检索词包括：“视动整合”“视觉运动整合”“幼儿”“儿童”“学龄前儿童”“早期数学能力”“数学成绩”，英文数据库所用检索词包括：“Visual- motor integration”“Preschool children”“Children”“Math”“Mathematics”。

1.3 系统综述文献荟萃标准

1.3.1 文献纳入标准

研究对象均为正常发育儿童；研究类型为对照实验、横断面研究、纵向研究等实证研究；研究的结局指标包括视动整合、早期数学能力所涉及的各类量表指标与评价指标。

1.3.2 文献排除标准

研究对象是具有先天性疾病，或身体功能、认知功能存在障碍的儿童；重复发表由AHRQ文献质量评估标准评估质量差的文献；结局指标不包含视动整合、早期数学能力所涉及的各类量表指标与评价指标。

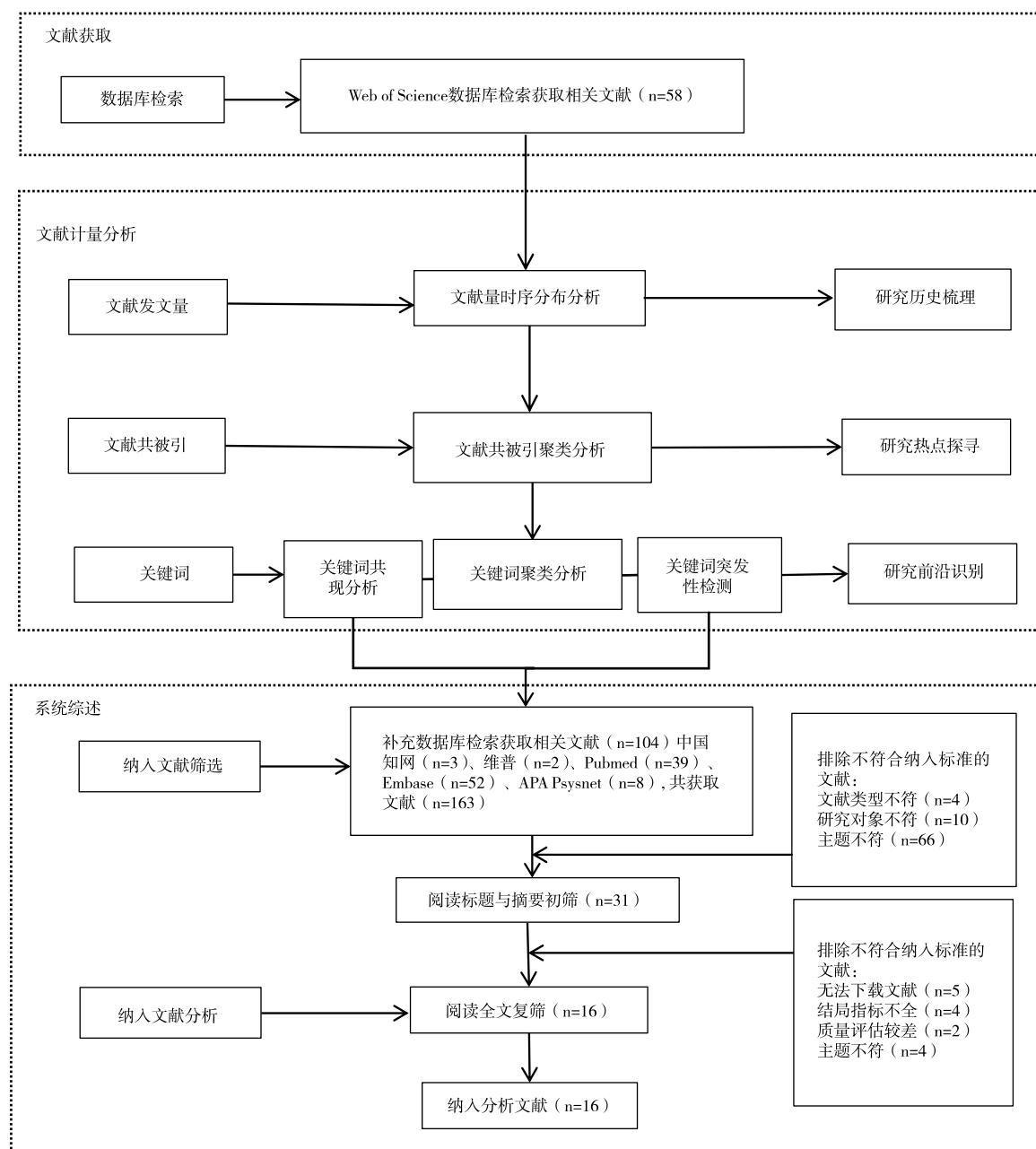


图1 幼儿视动整合与早期数学关系研究进展的计量分析与系统综述流程

Figure 1 Metrological analysis and systematic review process of the research progress on the relationship between visual-motor integration and early mathematics in young children

2 文献计量结果与分析

2.1 文献量时序分布分析

由Web of Science数据库的引文分析报告可知，由图2可知，年累计发文量呈增长趋势，且增长速度逐渐加快，在2014至2016年和2017至2019年间发文量出现了爆发式增长，这一期间该领域研究逐渐丰富，不过2019

年后，该领域的关注度又逐渐降低。由此可见，该领域整体层面发文量不足，研究较为稀缺，但从2019年前的增长态势可以发现，该领域的研究具有一定的价值与前景，而2019年后发文量的断崖式下跌也暴露了该领域热度在爆发式增长后出现了冷却期，且该领域研究仍处于起步阶段，因此后续进一步的研究是极其必要的。

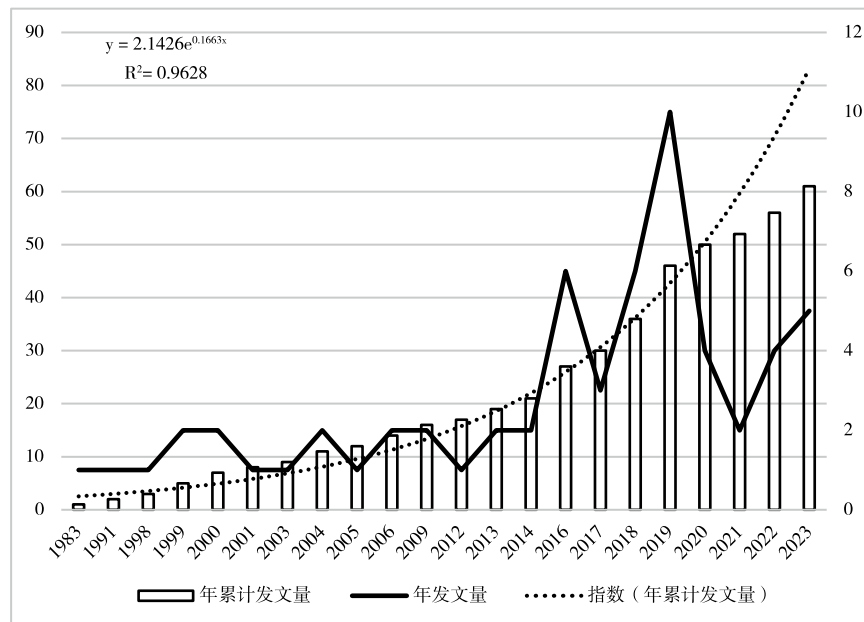


图 2 Web of Science中视动整合与早期数学能力关系相关研究的发文量

Figure 2 The number of publications on the relationship between visual-motor integration and early mathematical ability in Web of Science

2.2 关键词分析

2.2.1 关键词共线分析

通过CiteSpace软件进行关键词共现分析，将58篇文献基本信息转入CiteSpace共得到287个节点与923个连线，由图3可发现，在时间序列上，随着节点颜色由深到浅，该领域的关键词逐渐从最早期的低体重出生儿童（Low Birthweight Children）、脑功能损失（Brain-lesion）等脑病理研究相关词汇转向认知功能（Cognitive Function）、精细动作发展（Fine Motor Skill），以及学业成就（Academic

Achievement）等词，由此可见，研究者对于视动整合与早期数学能力间关系的探讨重心从最早的儿童病理相关研究逐渐转向了儿童多维度的发展上。此外，结合表1可发现，执行功能（Executive Function）、入学准备（School Readiness）和成就（Achievement）作为近些年出现频次较高的关键词，在未来仍有可能是研究的重点与热点，其中执行功能（Executive Function）较高的中心度也表明执行功能的相关研究可能是链接其他维度研究的重要枢纽。

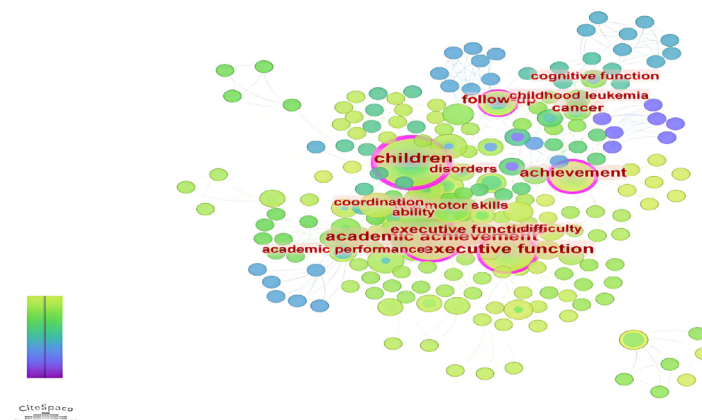


图 3 关键词共线知识图谱

Figure 3 Keyword co-occurrence knowledge map

表 1 前10位关键词频次统计表

Table 1 Frequency statistics table of the top 10

keywords				
序号	频次	中心度	关键词	年份
1	19	0.44	children	1999
2	13	0.21	academic achievement	2003
3	12	0.31	executive function	2014
4	9	0.02	kindergarten	2013
5	7	0.01	school readiness	2013
6	6	0.05	fine motor skills	2005
7	6	0.06	visual motor integration	1999
8	6	0.21	achievement	2016
9	4	0	working memory	2009
10	4	0	visual-motor integration	2003

2.2.2 关键词聚类分析

借助CiteSpace对关键词进行 K 均值聚类得到如图4所示部分重要聚类截取，分析共得到15个聚类（图中仅截取部分），如图中所示#3儿童白血病（Childhood Leukemia）、#6儿童期中风（Childhood Stroke）等聚类主要源于临床医学层面的研究，且主要集中于早期研究，而#0 学业成就（Academic Achievement）、#8美术教育（Art Education）、#7书写表现（Writing Performance）等聚类则更多分布在近年的研究，再次验证了研究者的工作重心逐渐从病理研究转向了正常儿童的发展，当然近年也依然存在如#4极早产（Extremely Preterm）等关注发育障碍与发育迟缓儿童视动整合与数学表现的聚类研究，但不可否认的是，现如今该领域研究的大趋势集中在如何更好地促进正常儿童视动整合与数学能力发展以及对儿童认知机制的探寻上。

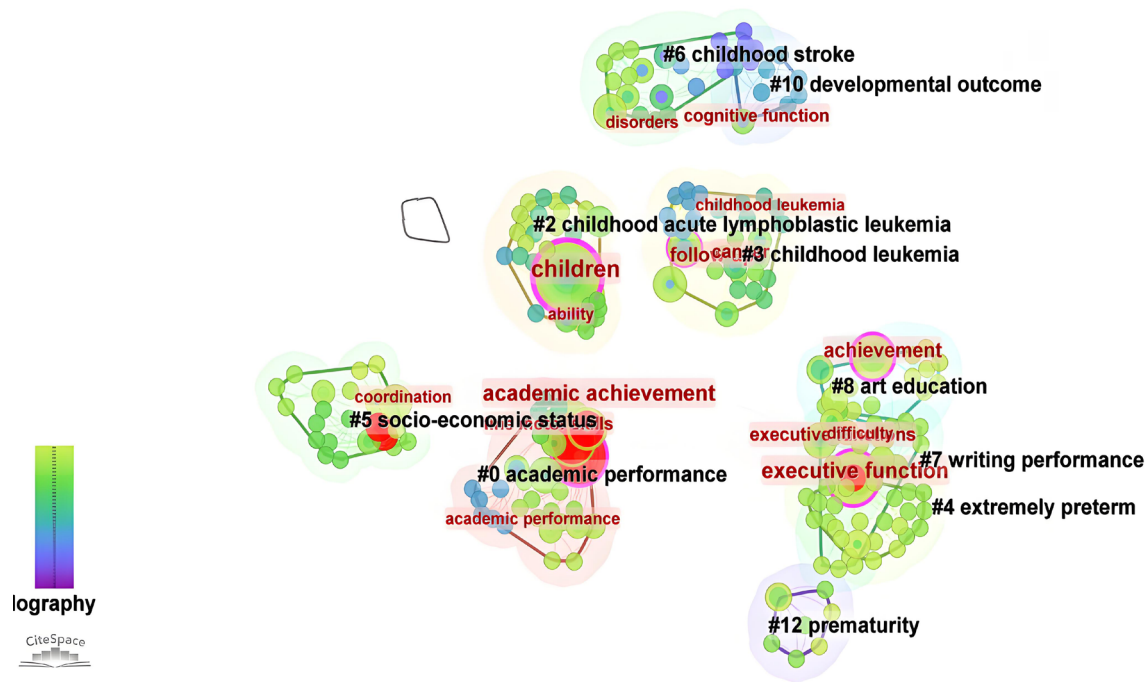


图 4 关键词聚类知识图谱

Figure 4 Keyword clustering knowledge map

2.2.3 关键词突现图谱

关键词突现图谱可直观地识别某一时段词频出现爆发式增长的关键词，本研究共识别出25个高频词。如图5所示，突现强度最高的是精细动作技能（Fine Motor Skills）、学前准备（School Readiness），以及数学成就（Mathematics Achievement），这三个关键词主要集中在2012至2016年间，而结合图2年发文量的趋势可以发现，2012至2016年正处于该领域研究的第一个爆发期，

与前期病理研究以及医学层面探讨不同，这一时期的研究也是直接关联视动整合与早期数学能力间关系探讨的开始，而发文量的第二爆发期中，研究开始更多的尝试从认知功能（Cognitive Function）的层面挖掘二者间的关系，而近些年，研究聚焦于协调（Coordination）、整合（Integration），以及执行功能（Executive Function）等关键词，延续了第二爆发期中以认知层面探讨为主线的基调。

Top 25 Keywords with the Strongest Citation Bursts

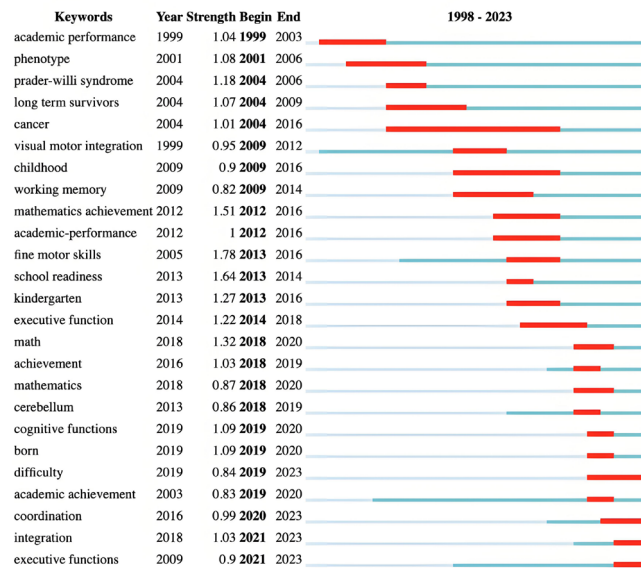


图 5 关键词突现图

Figure 5 Keyword burst map

2.3 文献共被引分析

文献共被引是对文献间关系的探讨，文献的共被引次数也能反映该文献在该领域研究的重要程度与贡献，同时对文献共被引情况的分析也是追溯学科或领域研究演变进程的重要方式。如图6所示，通过节点大小可判断出节点维尔丁（Verdine, 2014）、贝克尔（Becker, 2014）、卡梅伦（Cameron, 2016），以及卡尔森（Carlson, 2013）所代表的文献对视动整合与早期数学间关系的研究具有较大的贡献与影响，此外如图所示不同时间段的节点具有一定的聚集性，最为显著的是2018—2020年间与2014至2016年间，这两个时间区段内研

究互引的情况较多，而通过图7可以发现，在对文献共被引通过关键词进行主题聚类划分后，这两个时间区段研究的主要方向分别集中在学业技能（Academic Skills）和数学（Math），图中的彩色粗连线代表各研究间的联通性，可以发现各聚类内部连通性较好，各研究间联系紧密，但不同聚类间联通性却不明显，这主要是由于该领域的聚类划分存在一定的时序性，即随着时间的推移，针对视动整合与早期数学能力间关系的研究侧重点与切入点一直在发生变化，由此可见，该领域的研究大方向并不统一，对此在研究的历史进程中研究者一直在尝试通过不同学科、不同切入点来探讨视动整合与早期数学能力间的关系。

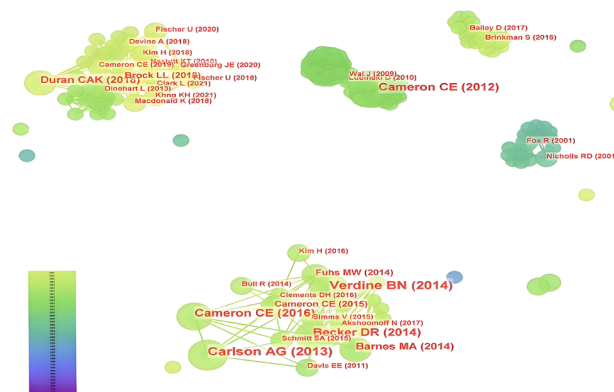


图 6 文献共被引网络知识图谱

Figure 6 Literature co-citation network knowledge map

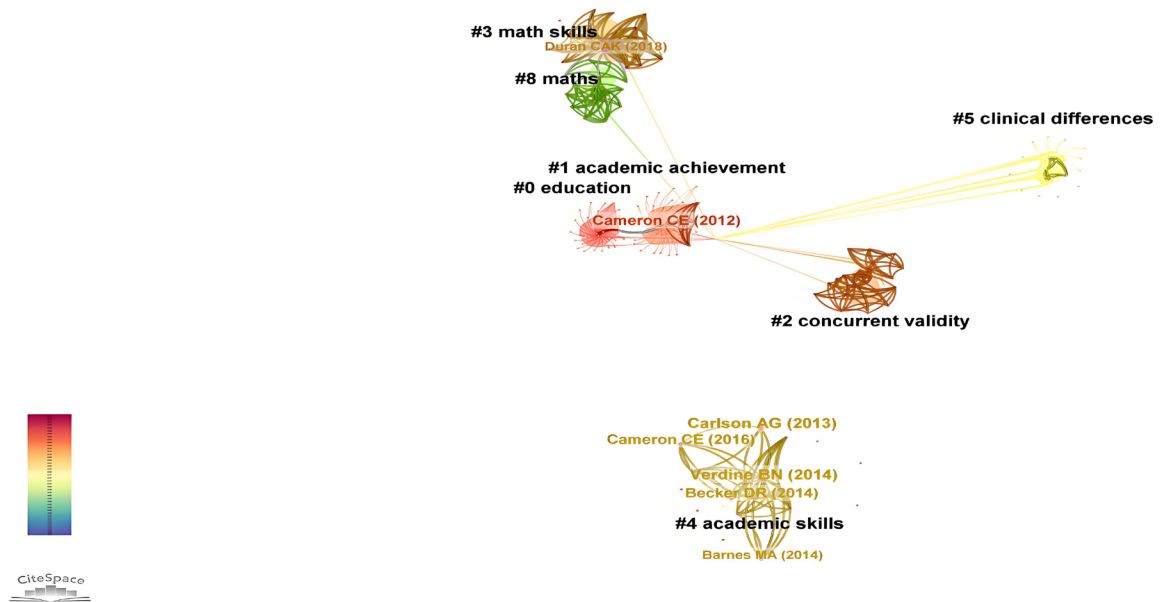


图7 文献共被引研究主题聚类知识图谱

Figure 7 Literature co-citation research topic clustering knowledge map

3 文献荟萃结果与分析

3.1 文献纳入结果及基本特征分析

本研究在Web of Science检索得到的58篇文献的基础上，还补充了CNKI中国知网3篇、维普2篇中文数据库文献，以及PubMed39篇、Embase52篇、APA PsyNet8篇英文数据库文献，共检索到162篇文献，剔除重复51篇后，将剩余通过初筛文献标题、摘要剔除与纳入标准不符的文献后，初筛纳入31篇。经两名研究者获取并阅读文献全文后，复议筛选出16篇文献纳入研究。

如表2所示，本研究共纳入16篇文献，其中外文文献15篇，中文文献1篇，这表明视动整合以及精细动作技能的研究在我国仍处于萌芽阶段，精细动作发展与认知发展关系的研究仍较为稀缺。从研究方法来看，本研究纳入的11篇文献为横断面研究，4篇为纵向研究，1篇为序

列研究。研究发表时间横跨1983年至2020年，从研究方法和时间两个维度来看，随着时间的推移相关研究也从横断面研究逐渐向纵向研究发展，同时研究所纳入样本量也随时间推移呈现出上升趋势。从调查对象来看，除一项横断面与短期纵向相结合的研究聚焦于学龄前儿童以外，其余横断面研究均聚焦于小学低年龄段的儿童进行调查分析，而纵向研究均选择学龄前儿童进行跟踪调查。从测试工具来看，本研究所纳入文献所选取的测试工具存在差异，视动整合方面大多数研究采用了DTVMI（Beery视动整合发育测试）进行测试，部分研究则选择了信效度良好的任务范式进行测试；早期数学能力方面大多数研究采用WRAT（插入英文全称，广泛成就测试）和WISC（插入英文全称，韦氏儿童智力量表）进行测试，部分研究选用了一些量表或当地的学业考试作为依据。

表2 纳入文献特征

Table 2 Characteristics of included literature

作者	出版年	研究类型	样本量	研究对象信息			测试工具		研究结果
				国家/地区	经济状况	年龄	视动整合	早期数学能力	
Barnhardt	2005	横断面研究	37	美国	未说明	8 ~ 13	DTVMI（视动整合发育测试）	WRAT（广泛成就测试）	视动整合表现较差的儿童在涉及空间组织的数学任务中表现也较差
Carlson	2013	横断面研究	97（57男、40女）	未说明	未说明	10.59	DTVMI	WISC（韦氏儿童智力量表）	精细运动表现与儿童数学并没有显著的关联，但视动整合得分高的儿童仍表现出较好的数学成绩
Coetzee	2020	横断面研究	863（453男、410女）	南非	低水平	9.9	DTVMI	ANA（年度国家成绩评估）	测试所涉及学科均与视动整合存在小到中度的显著相关性。最强的相关性发生在与数学学习区域之间
de Waal	2018	横断面研究	221	南非	低水平	10	DTVMI	ANA（年度国家成绩评估）	视知觉与视动整合与儿童数学学习存在关联，但手部灵巧度与学习成绩的关联更强

续表

作者	出版年	研究类型	样本量	研究对象信息			测试工具		研究结果
				国家/地区	经济状况	年龄	视动整合	早期数学能力	
Grobecker	2000	横断面研究	179	美国	中等水平	8.1 ~ 11.7	DTVMI	WISC(韦氏儿童智力量表)	学习障碍和非学习障碍组间视动整合任务完成情况的差异主要源于学习障碍组一般空间认知机制上的发育延迟
Greenburg	2020	队列研究	34490	美国	中低水平	4.68(学龄前评估年龄)	精细动作量表	LAP-D(学习成就诊断)	视动整合是儿童未来数学发展的良好预测因子
Hopkins	2019	横断面研究	222	澳大利亚	中低水平	7.9	DTVMI	PAT-M(澳大利亚数学成绩测试)	在对儿童视动整合(VMI)、发育性眼动以及视敏度测试中,视动整合(VMI)与学龄儿童的阅读和数学成绩相关性最强
Kim	2018	纵向研究	254	美国	低收入	5.6 ~ 6.7	复写任务	KeyMath-3	除一年级到二年级这一时期,视动整合和数学技能均表现出持续的相关性
Mayes	2009	横断面研究	198(93男, 105女)	未说明	未说明	8.6	DTVMI	WRAT3	视觉运动整合发育测试(VMI)和编码对数学预测有显著贡献
Memisevic	2018	横断面研究	210(107男, 103女)	波斯尼亚和黑塞哥维那	未说明	8 ~ 10	普渡钉板测验	当地数学统测	视觉运动整合是数学未来发展的重要预测因素
Nesbitt	2018	横断面研究+短期纵向研究	1138(517女, 621男)	美国	未说明	4.5	复制设计任务	Woodcock Johnson III 成就成套测验的应用问题和定量概念分量表	尽管视觉运动整合对执行功能技能和数学成绩都有预测作用,但这些效应仅在幼儿园前期发现,并且不是双向的
Pitchford	2016	横断面研究	66(29男, 33女)	英国	中低水平	5.4 ~ 6.6	BOT-2(运动能力测试第二版)	WIAT-II(韦氏个人成就测试第二版)	精细动作整合与学业能力存在显著的相关性,其中与数学的相关性最强
Siegel	1983	横断面研究	29	未说明	未说明	7 ~ 13	DTVMI	WRAT	存在算术困难的学习障碍儿童视动整合能力明显差于不存在学习障碍的儿童
Sulik	2018	短期纵向研究	343	美国	未说明	9.73	ROCF	加州标准测试	视动整合预测数学可能与执行功能也存在关系
Verdine	2014	短期纵向研究	44(22男, 22女)	美国		3.6 ~ 4.7	DTVMI	WIAT	空间技能(通过视动整合测试得分体现)与数学显著相关,且能独立预测数学技能
刘淑华	2001	横断面研究	60(38男, 22女)	中国	未说明	7 ~ 12	DTVMI	智力测验 C-WISC	存在学习障碍的儿童均存在视动整合能力发育不良的问题,尤其体现于数学学习障碍的儿童

3.2 视动整合与早期数学能力的关系研究进展

研究纳入的5篇文献均对视动整合与早期数学能力之间的相关性进行了分析,其中国内学者关于视动整合与早期数学能力的研究较为匮乏,研究仅纳入刘淑华(2001)对学习困难儿童的视动整合发育测试的研究,其研究结果发现,智力正常但学习困难的儿童普遍存在视动整合发育落后的情况,尤其体现在数学学科^[13],此外,同年张华等人(2001)也针对4~8岁儿童的视动整合能力与学习成绩间的关系展开了调查,但其研究结果仅报告了视动整合与学业能力之间存在显著相关,并未对数学学科单独进行讨论与分析^[5]。而其余3篇国外研究分别对不同年龄、种族的儿童进行了调查,卡尔森(Carlson, 2013)在一项贯穿5~18岁儿童的横断面研究中就曾发现精细运动表现与儿童的数学能力并不存在显著的相关性,但视动整合得分高的儿童普遍表现出更好的数学成绩^[14]。而随着后续研究的深入,不同动作发展与不同学业能力之间的关系逐渐变得清晰,如维尔丁团队(Verdine, 2017)以及Pitchford团队(2016)的研究

就与卡尔森(Carlson, 2013)提出了不同观点,他们的研究都指出相较于其他学科,数学是与视觉运动整合以及精细动作整合相关性最高的学业成就^[15, 16]。德瓦尔(de Waal, 2018)在针对南非儿童的研究中提出了类似的观点,他认为视知觉、视动整合与儿童的数学学习以及数学发展是存在关联的,尽管他的研究结果认为该相关性较弱^[17],不久后,库切(Coetzee, 2020)在同样对南非儿童的研究结果也支持了德瓦尔的观点^[18]。对此,金姆(Kim, 2018)通过更为深入的纵向研究对低年龄段中不同年龄层级进行了分类探讨,在该研究所选取的5~6.8岁的幼儿园队列中,视动整合和数学技能始终表现出持续的相关性,而在6~7.9岁的一年级队列中,视动整合和数学技能之间的相关性不再显著^[19]。至此可以发现,针对视动整合能力与儿童早期数学能力之间的关系,虽已有部分学者对此开展了系列研究,但此类探究大多停留在相关性分析,除较早的卡尔森(Carlson, 2013)的研究外,大多数研究结果具有一致性,均显示视动整合与早期数学能力之间存在正向的相关性,尽管

相关程度的大小不同,而这些不同一部分源于不同研究的研究对象选择不同,更多的则是如表2所示,不同研究对视动整合的测量工具选择存在一定差异。而本研究的文献计量分析也显示与视动整合相关的关键词除其本身还有精细动作技能(Fine Motor Skills),由于精细动作技能与视动整合一样也是强调个体手眼密切配合的小肌肉运动^[20],且二者概念存在重叠,视动整合与精细动作技能的从属关系界定至今仍存在一定争议,其中美国学者卡尔森(Carlson, 2013)与英国学者皮奇福德(Pitchford, 2016)等人将视动整合能力视为精细动作技能的子能力^[14, 16],而也有其他学者认为视动整合能力是精细动作技能与视觉感知共同作用的结果,且不同的学者对精细动作技能的分类的方式与角度有所不同,如迪因哈特(Dinehart, 2013)等人将精细动作技能分为了精细动作操作与精细动作书写^[21]。由于精细动作技能分类的不统一与名词使用的不一致,因而现有视动整合的相关研究整体呈现研究延续性缺失、深入度不足以及系统性薄弱的特点。因此清晰界定并统一精细动作技能的分类与相关名词的使用是日后研究中急需解决的问题之一,明确的精细动作技能分类,清晰视动整合与其从属关系无疑对动作影响认知发展的研究是具有重要意义的。

除此之外,本研究纳入的文献中有6篇文献还探讨了视动整合能力对儿童数学发展的预测作用,其中最早由梅斯(Mayes, 2009)的研究提出视觉运动整合发育测试(VMI)和编码对数学预测有显著贡献^[22],维尔丁等人(Verdine et al., 2017)针对空间技能对数学影响的研究也发现,视动整合测验所评估的空间技能能独立预测儿童数学技能的发展^[15],而皮奇福德(Pitchford, 2016)在验证视动整合与早期数学能力相关性的基础上,也发现视动整合是早期数学能力的重要预测因素^[16]。除此之外,2018年同期的3篇文献结果也均证实了视动整合对儿童数学发展具有预测作用,其中内斯比特(Nesbitt, 2018)还提出这种效应仅存在于幼儿园前期,同时该效应并非双向等观点^[23],苏利克(Sulik, 2018)的研究结果也对预测的具体机制进行了讨论,引出了执行功能在该预测过程中是否产生效应的思考^[24]。而近期格林伯格(Greenburg, 2020)的研究结果也再次强调了学前教育中较强的视动整合能力与儿童在三、四、五年级的标准化数学和阅读测试成绩的显著改善有关,即视动整合能力是未来数学发展的良好预测因子^[25]。综上所述,视动整合能力对儿童未来数学发展以及数学成绩具有较好的预测作用,同时从涉及研究的时间跨度也能发现,在2009—2020近十年的研究重心逐渐从相关性分析转向预测因子的识别,这一研究方向的转变实则为数学学习障碍儿童(MLD)症状改善以及解决儿童数学学习困难提供了新的思路与策略,同时对低年龄段教育从业者在实际教学中也提供了引导与启示。

3.3 视动整合能力影响早期数学能力的内在机制研究进展

通过对纳入文献的分析发现,大多数的研究者都普遍关注视动整合与早期数学能力间关系,鲜有研究深入开展针对视动整合能力影响早期数学能力内在机制的探究,关于二者交互关系中是否存在其他变量产生效应也并不明确。但大多数学者都认为儿童成长过程中会不断接受新事物并适应变化的环境,且在这一过程中,儿童的动作和认知往往是一起发展的^[26]。因此,部分研究者以自身研究结果为基础,结合其他一些理论和研究针对视动整合能力影响早期数学能力的作用机制提出了相关假设。如图8所示,在Web of Science检索出文献的关键词聚类分析中,节点外被紫色圆圈包围的执行功能(Executive Function)具有良好的中介中心性,而中介中心性高的节点表明该节点在网络中起到了桥梁的作用,能够连接不同区域或群体,同时部分学者的假设中也多次提及隶属高级认知能力的执行功能可能在视动整合与早期数学能力的交互关系中扮演重要角色,例如维尔丁(Verdine, 2017)认为二者的联系可能是由于视动整合能力能有效发展儿童的空间想象能力所致,但对此其研究并未做出深入的探讨与证明^[15]。而苏利克(Sulik, 2018)的研究结果则证明视动整合能力对数学能力发展有较显著的预测作用,同时他也指出了这种预测与影响可能与执行功能存在关系,也就是说当视动整合与执行功能共同发挥作用时,对数学能力的预测效应更加稳定^[24]。同样地,克莱尔汤普森(Claire Thompson, 2007)的研究也表明了执行功能在视动整合对学术成就产生影响中的重要作用,其研究认为执行功能的部分子能力间的联系造成了视动整合对数学能力的影响^[27]。执行功能是一种特殊认知功能,指个体在完成一些复杂的认知任务和动作时,协调控制一系列基本认知活动的高级认知过程^[28],多位研究者提出相关猜想认为其与视动整合、早期数学能力的发展均是高度关联的。实际上研究已验证了儿童早期的动作发展与执行功能存在关联,粗大动作对执行功能发展的正向影响已较为明确^[29, 30],更重要的是隶属精细动作技能的视动整合能力在脑科学研究中也被验证其与执行功能发展的脑区存在重合,且二者发展轨迹在行为学上基本保持一致^[28],这种一致性主要源于执行功能中的抑制控制与视动整合存在显著的正向相关性。同样,执行功能也是影响儿童数学能力发展的重要因素,且研究普遍认为执行功能中的工作记忆能力与儿童早期数学能力联系最为紧密^[31-35]。由此可见,视动整合影响早期数学能力的影响机制可能与执行功能有关,但对于该影响机制的研究现仍处于理论猜想与模型构建的初步阶段。探明执行功能产生的具体作用与效应是挖掘视动整合影响早期数学能力影响机制的重要切入点,也将是对动作与认知功能联动发展的有力佐证。



图8 关键词聚类分析截取—执行功能的中介中心性
Figure 8 Intercept of keyword clustering analysis—
betweenness centrality of executive function

那么造成挖掘视动整合能力影响早期数学能力具体机制的研究始终停滞在理论构建与猜想的阶段的原因是什么呢？通过对文献的分析发现，这可能归咎于缺少系统性的视动整合干预方法。其实，早在20世纪80年代，就有学者提出了干预视觉运动整合能力的相关范式，如跟踪、复制和重现（tracking, copy, and reproduction, TCR）等任务^[36]。然而，由于当时研究环境和条件的限制，他们的研究并没有发现TCR训练在提高视动整合能力方面的有效性的确凿证据。而近些年，韩国学者Minho（2022）通过基于视听反馈的视觉知觉数字钉板训练，有效地干预了左偏瘫个体的视动整合能力，但是这种干预方法对正常发育儿童的适用性仍有待进一步的研究和验证^[37]。此外，香港理工大学学者Poon等人（2010）曾尝试通过自行设计的计算机化视动整合训练软件对儿童视动整合能力的干预，该软件主要由儿童简单易懂的电脑游戏构成，儿童根据相应提示通过鼠标点击完成相应任务，以此对其视动整合能力进行训练干预，该方式最终取得了较为显著的干预效果^[38]。Poon等人的研究实则丰富了视动整合相关研究的研究方法运用，同时为该领域更深入的研究提供了可能性。

4 结论与展望

4.1 研究结论

4.1.1 本土化研究不足致使国内外视动整合与早期数学能力研究进度差异显著

由于国内该领域研究较为稀缺，因此本研究计量分析过程中并未选择国内数据库，而后续文献荟萃结果也仅有1篇中文文献。由于中国儿童成长环境与欧美儿童的差异，将欧美儿童研究的结论直接迁移到中国儿童身上是不合理的，这也进一步体现了开展本土化研究的必要性。针对视动整合发展规律的研究，已有研究证实了由于中国传统汉字文化的影响，以及中国儿童从小使用筷子的习惯，中国儿童视动整合能力发展规律相较于欧美

儿童存在一定差异，即中国儿童视动整合能力可能会普遍优于欧美儿童，但鲜有学者将中国儿童作为被试对象去进一步证明。另外，本土化的研究对于挖掘中国儿童视动整合发展优势背后蕴含的传统文化积淀，以及对传统文化在世界范围内推广都具有十分重要的意义，且本土化的研究成果对于国内幼儿园教学工作更具指导性，更贴合国内儿童在园的实际情况。目前国内在该领域的研究仍处于萌芽阶段，在未来研究中，需要更多扎根于我国传统文化背景以及国内儿童身心发展规律的实证研究。

4.1.2 视动整合与精细动作隶属关系不明确致使动作发展与学业能力关系研究缺乏延续性

在研究实践中，研究者通常认为视动整合隶属于精细动作技能，但该隶属关系在理论层面的依据仍有所欠缺。而精细动作技能分类的不统一以及视动整合能力与精细动作技能在理论上的隶属关系不明确，无疑会造成不同学者的研究存在歧义，这也导致了现有的研究整体呈现研究延续性缺失、深入度不足，以及系统性较差的问题。因此，明确的精细动作技能的分类无疑更加有利于后续研究深入，精细动作发展与认知发展关系的研究也更能进一步细化与聚焦，更有利于研究者挖掘不同精细动作技能的发展与不同维度的认知发展之间的深层联系，同时，概念与分类的统一也使得对该领域研究进展的把控更为准确。因此，清晰界定并统一精细动作技能的结构划分是日后研究中急需解决的问题之一。

4.1.3 视动整合能力与早期数学能力的关系已明确但机制待挖掘

国内外学者对于视动整合能力与学业能力的研究得出的结果较为一致，大多数研究都发现二者之间存在显著的相关性。但现阶段研究以横断面研究为主，除分析相关性外，研究者仅针对视动整合对儿童未来数学发展的预测作用进行了检验，缺少对视动整合影响早期数学能力的机制及原理的挖掘。目前，部分研究者针对视动整合影响早期数学能力的作用机制提出了相关假设，但大多处于理论推导阶段，并未进行实质性的研究加以验证，并未进一步对视动整合与早期数学之间的关系以及二者之间的相互影响进行挖掘。

4.1.4 视动整合能力干预方法开发不成熟致使实验研究推进缓慢

对于视动整合能力系统性干预方法的研究较为稀缺。早年对于视动整合干预方法的研究由于技术受限，导致研究结果不理想和一些研究无法开展的情况，而后逐渐出现学者尝试通过自行开发的方法对儿童的视动整合能力进行干预的尝试，部分研究取得了一些效果，但视动整合干预方法的缺失实则并非源于研究者未能聚焦到该问题，而是此类研究多较为零散，缺乏系统性。这

种系统性问题体现在没有学者尝试对零散的视动整合能力的干预方法进行总结归纳和验证,并形成被普遍认可的干预方法。系统性干预方法的不成熟也导致通过实验法研究视动整合对早期数学能力影响的研究存在阻力,难以推进,进而造成该领域实验法研究进展缓慢。同时,系统性干预方法的不成熟也导致幼儿园缺乏科学且统一的视动整合教育教学方法,不利于在园幼儿视动整合能力的促进与发展。

4.2 未来研究展望

4.2.1 进一步开展本土化的视动整合与早期数学能力的关系研究

在未来研究中,国内学者应更加扎根于我国儿童的身心发展规律与实际在园情况,深入开展中国本土化的视动整合与早期数学能力的关系研究,同时以视动整合与早期数学能力作为突破口,进一步探究儿童精细动作技能与学业能力乃至认知发展之间的关系,同时针对不同民族与文化背景的儿童视动整合与早期数学能力发展的研究不应仅停留在表层的差异现象上,应更为深入地挖掘造成这些差异背后的根本原因。

4.2.2 开展理论研究界定精细动作技能结构划分以厘清各能力间的从属关系

清晰界定并统一精细动作技能的结构划分是日后研究中急需解决的问题之一,明确的精细动作技能结构划分并厘清各子能力之间的从属关系将有利于后续对精细动作技能开展更为深入的研究。因此,后续研究应以实践研究为基础,从理论上论证各子能力与精细动作间的关系,对精细动作技能所涉及相关研究进行整合、归纳与编码,构建分类池,对前人不同的分类方法进行挖掘与分析,并对其在当今研究中的适用性进行评估,进而更为清晰地界定精细动作技能的结构与子分类,厘清各能力间的从属关系。

4.2.3 完善视动整合系统性干预方法进一步纾解视动整合影响早期数学能力作用机制研究堵点

不少学者都提出了视动整合影响早期数学可能与隶属高级认知的执行功能有联系,进而衍生出执行功能可能是视动整合影响早期数学能力作用机制的猜想,但由于系统性的视动整合干预方法缺失,难以从实验研究层面对该作用机制进行深入挖掘,因此未来研究中,应对国内外前人曾实践过的视动整合能力干预方法进行归纳总结,根据我国儿童身心发展规律评估其适用性,同时对前人所提出的视动整合训练理论进行延展与推论,构建具有系统性、科学性、适于中国儿童开展的视动整合能力干预方法,为一线幼儿园视动整合教育教学提供参考,纾解视动整合领域实验研究开展阻滞点,进一步促进视动整合影响早期数学能力的深层机制研究。

参考文献

- [1] 刘颂. 儿童早期加法策略发展及其教育启示[J]. 学前教育研究, 2007(3): 10-14.
- [2] 史亚娟, 华国栋. 中小学生学习数学能力的结构及其培养[J]. 教育学报, 2008(3): 36-40.
- [3] 周欣. 儿童数概念的早期发展[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2004.
- [4] 刘范. 中国现时的发展心理学——兼谈中国3—12岁儿童数概念和运算能力的发展[J]. 心理学报, 1981(2): 117-123.
- [5] 张华, 林磊, 陶沙, 等. 4~8岁儿童视动整合能力发展及其与学业成绩关系的研究[J]. 心理发展与教育, 2001(3): 5-8.
- [6] Ng M, Chui M, Lin L, et al. Performance of the Visual-Motor Integration of Preschool Children in Hong Kong[J]. Hong Kong Journal of Occupational Therapy, 2015, 25(1): 7-14.
- [7] Birch, Lefford. Visual differentiation intersensory integration and voluntary motor control[J]. Monographs of the society for research in child development, 1967, 32(2).
- [8] Siegel L S, Feldman W. Nondyslexic children with combined writing and arithmetic learning disabilities[J]. Clinical Pediatric, 1983, 22(4): 241-244.
- [9] Grobecker B, De Lisi R. An investigation of spatial-geometrical understanding in students with learning disabilities[J]. Learning Disability Quarterly, 2000, 23(1): 7-22.
- [10] Barnhardt C, Borsting E, Deland P, et al. Relationship between visual-motor integration and spatial organization of written language and math[J]. Optometry and Vision Science, 2005, 82(2): 138-142.
- [11] Pieters S, Desoete A, Roeyers H, et al. Behind mathematical learning disabilities: What about visual perception and motor skills[J]. LEARNING AND INDIVIDUAL DIFFERENCES, 2012, 22(4): 498-504.
- [12] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.
- [13] 刘淑华. 学习困难儿童视觉—运动整合发育测验分析[J]. 徐州医学院学报, 2001(1): 47-49.
- [14] Carlson A G, Rowe E, Curby T W. Disentangling fine motor skills' relations to academic achievement:

- the relative contributions of visual-spatial integration and visual-motor coordination [J]. *Genet Psychol*, 2013, 174 (5/6): 514-33.
- [15] Verdine Brian N, Golinkoff Roberta Michnick, Hirsh-Pasek Kathy, et al. Spatial skills, their development, and their links to mathematics [J]. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 2017, 82 (1).
- [16] Pitchford N J, Papini C, Outhwaite L A, et al. Fine Motor Skills Predict Maths Ability Better than They Predict Reading Ability in the Early Primary School Years [J]. *Frontiers in Psychology*, 2016 (7).
- [17] de Waal, Elna, Pienaar, et al. Perceptual-motor contributors to the association between developmental coordination disorder and academic performance: North-West Child Health, Integrated with Learning and Development study [J]. *South African Journal of Childhood Education*, 2018, 8 (2).
- [18] Coetzee, Dane, Pienaar, et al. Relationship between academic achievement, visual-motor integration, gender and socio-economic status: North-West Child Health Integrated with Learning and Development study [J]. *South African Journal of Childhood Education*, 2020, 10 (1).
- [19] Kim, Helyn, Duran, et al. Developmental Relations Among Motor and Cognitive Processes and Mathematics Skills [J]. *Child Development*, 2018, 89 (2): 476-494.
- [20] Luo Z, Jose P E, Huntsinger C S, et al. Fine motor skills and mathematics achievement in East Asian American and European American kindergartners and first graders [J]. *British Journal of Developmental Psychology*, 2007, 25 (4): 595-614.
- [21] Dinehart, Laura, Manfra, et al. Associations Between Low-Income Children's Fine Motor Skills in Preschool and Academic Performance in Second Grade [J]. *Early Education and Development*, 2013, 24 (2): 138-161.
- [22] Mayes S D, Calhoun, S L, Bixler E O, et al. IQ and neuropsychological predictors of academic achievement [J]. *Learning and Individual Differences*, 2009, 19 (2): 238-241.
- [23] Nesbitt, Kimberly Turner, Fuhs, et al. Stability and instability in the co-development of mathematics, executive function skills, and visual-motor integration from prekindergarten to first grade [J]. *Early Childhood Research Quarterly*, 2018 (46): 262-274.
- [24] Sulik, Michael J, Haft, et al. Visual-Motor Integration, Executive Functions, and Academic Achievement: Concurrent and Longitudinal Relations in Late Elementary School [J]. *Early education and development*, 2018, 29 (7): 956-970.
- [25] Greenburg J E, Carlson A G, Kim H, et al. Early Visual-Spatial Integration Skills Predict Elementary School Achievement Among Low-Income, Ethnically Diverse Children [J]. *Early Education and Development*, 2020, 31 (2): 234-252.
- [26] MacDonald M, Lipscomb S, Mc Clelland M M, et al. Relations of Preschoolers' Visual-Motor and Object Manipulation Skills With Executive Function and Social Behavior [J]. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 2016, 87 (4).
- [27] Clair-Thompson, Helen L St. The influence of strategies on relationships between working memory and cognitive skills [J]. *Memory (Hove, England)*, 2007, 15 (4): 353-365.
- [28] Diamond A. Executive functions [J]. *Annual Review of Psychology*, 2013 (64): 135-168.
- [29] 江大雷, 曾从周. 8周中等强度足球运动游戏对学龄前儿童执行功能发展的影响 [J]. *中国体育科技*, 2015, 51 (2): 43-50.
- [30] 杨硕, 李亚梦, 付若凡, 等. 3~6岁幼儿粗大动作与执行功能发展特点及关系研究 [J]. *中国体育科技*, 2022, 58 (3): 51-58.
- [31] Gerst E H, Cirino P T, Fletcher J M, et al. Cognitive and behavioral rating measures of executive function as predictors of academic outcomes in children [J]. *Child Neuropsychology*, 2017, 23 (4): 381-407.
- [32] Toll S W M, Van der Ven S H G, Kroesbergen E H, et al. Executive Functions as Predictors of Math Learning Disabilities [J]. *Journal of Learning Disabilities*, 2011, 44 (6): 521-532.
- [33] Andr é s M L, Canet-Juric L, Garc í a-Coni A, et al. Executive Functions and Academic Performance: The Moderating Role of Distress Tolerance [J]. *Mind Brain and Education*, 2022, 16 (3): 197-208.
- [34] Presentaci ó n-Herrero M J, Mercader-Ruiz J, Siegenthaler-Hierro R, et al. Executive functioning and motivation in preschool children at risk for learning difficulties in mathematics [J]. *Revista De Neurologia*, 2015 (60): S81-S85.
- [35] van Bueren Nienke E R, van der Ven Sanne H G, Roelofs Karin, et al. Predicting Math Ability Using Working Memory, Number Sense, and

- Neurophysiology in Children and Adults [J]. Brain Sciences, 2022, 12 (5) .
- [36] Conrad, Scott A. Effects of a Tracing, Copying, Revisualization (TCR) Training Program on Visual-Motor Integration and Handwriting [D]. West Chester University of Pennsylvania, 1981.
- [37] Minho K, Young-Geun K, Kyeong-Mi K, et al. Effects of Audiovisual Feedback-Based Visual-Perceptual Digital Pegboard Training on the Visual-Motor Integration and Cognitive Functioning of Patients With Left Hemiplegia [J]. Korean Journal of Occupational Therapy, 2022, 29 (4) : 109-125.
- [38] Poon K W, Li-Tsang C W P, Weiss T P L, et al. The effect of a computerized visual perception and visual-motor integration training program on improving Chinese handwriting of children with handwriting difficulties [J]. Research in Developmental Disabilities, 2010 (31) : 1552-1560.

A Systematic Review and Visualization Analysis of the Impact of Early Childhood Visual-motor Integration on Early Mathematical Abilities

Li Yucen He Jinhao Xu Dongmiao Liu Liu

Institute of Sports Science, Sichuan University, Chengdu

Abstract: Early mathematical ability is an essential part of young children's cognitive development and is closely related to the development of visual-motor integration (VMI) skills. A systematic review was conducted by selecting relevant literature on the relationship between VMI and early mathematical ability, using CiteSpace for visual bibliometric analysis. The review found that foreign studies generally confirm the relationship between the two, but the specific mechanism of their association is still unclear due to the lack of systematic VMI intervention methods. Additionally, the debate over the hierarchical relationship between VMI and fine motor skills makes it difficult to further extend and infer research perspectives on the macro level of motor development. Suggestions for future research include: (1) Actively promoting localized research; (2) Clarifying the hierarchical relationship between VMI and fine motor skills; (3) Proposing systematic intervention methods for children's VMI; (4) Exploring the mechanism by which VMI affects early mathematical ability in depth.

Key words: Visual-motor integration; Early mathematical ability; Young children; Motor development; Cognition