·科研论著·

婴儿运动发育影响因素和交互作用分析的巢式病例对照研究

胡月，鲍筝，王荣环

北京市通州区妇幼保健院儿童群体保健科，北京 101100

摘 要：目的 分析婴儿运动发育影响因素的层次关系和交互作用，为婴儿运动发育迟缓的早期预测和防治提供科学依据。**方法** 通过“北京市妇幼信息系统”儿童保健系统综合查询模块，导出并整理 2020 年 1 月 1 日—2021 年 8 月 31 日在北京市通州区 21 家社区卫生服务中心进行“0～1 岁运动发育筛查”的婴儿相关体检数据，应用巢式病例对照研究的方法，将筛查结果“阳性”的 416 例婴儿作为病例组，队列中按照婴儿月龄 1∶1匹配选择筛查结果“阴性”的 416 例婴儿作为对照组。通过 χ^2 检验、Logistic 回归分析、Exhaustive CHAID 分类树模型分析婴儿运动发育的影响因素和可能存在的交互作用，并计算相加和相乘交互作用。**结果** 多因素 Logistic 回归显示：出生体重＜2 500g（$OR=3.28$）、剖宫产（$OR=1.63$）、户外活动时长≤1h/d（$OR=3.07$），未补充维生素 D 剂（$OR=2.68$）是婴儿运动发育筛查阳性的危险因素（$P<0.01$）。Exhaustive CHAID 分类树分层显示，低出生体重是运动发育筛查阳性的首要危险因素，其次是户外活动时长、服用维生素 D 情况和分娩方式等。交互作用分析显示，未补充维生素 D 剂与低出生体重对婴儿运动发育筛查阳性存在相乘交互作用（$OR=13.76$，95%CI：1.20～158.08）和相加交互作用（$RERI=10.22$，95%CI：5.05～15.38）。**结论** 应关注低出生体重、剖宫产婴儿的早期运动发育，重视其维生素 D 补充剂量和户外活动时长，加强婴儿运动发育的早期筛查和分层管理。

关键词： 运动发育；分类树模型；交互作用；婴儿

中图分类号：R72 **文献标识码：**A **文章编号：**1008-6579(2024)05-0502-05 doi:10.11852/zgetbjzz2023-0555

Nested case-control study on the risk factors and interaction analysis of positive screening for infant motor development

HU Yue, BAO Zheng, WANG Ronghuan

Department of Child Health Care, Tongzhou Maternal and Child Health Care Hospital, Beijing 101100, China

Corresponding author: BAO Zheng, E-mail: baozheng_219@126.com

Abstract: Objective To identify the influencing factors of infant motor development, and to explore the potential interactive factors, so as to provide scientific basis for early prediction and targeted prevention of infant motor developmental delay. **Methods** Data of infants receiving "0～1 motor development screening" at 21 community health service centers in Tongzhou District, from January 1st, 2020 to August 31st, 2021 were collected through the *Beijing Maternal and Child Information System*. Using the method of nested case-control study, 416 infants with positive screening results were selected as case group, 416 infants with negative screening result were selected into the control group by 1∶1 case-control matching of screening age. Chi-square test, Logistic regression analysis, and Exhaustive CHAID decision tree model were used to explore the influencing factors of infant motor development, the interaction effect was investigated by using the additive and multiplicative interaction models. **Results** Multivariate Logistic analysis showed that birth weight＜2 500g ($OR=3.28$), cesarean section ($OR=1.63$), outdoor activity≤ 1h/d ($OR=3.07$), and no supplementation of vitamin D ($OR=2.68$) were risk factors for positive screening results of infant motor development ($P<0.01$). The Exhaustive CHAID decision tree showed that low birth weight was the primary risk factor for infant with positive screening results, followed by outdoor activity, vitamin D supplementation and delivery. The interaction analysis showed that there was a multiplicative interaction ($OR=13.76$, 95% CI: 1.20 - 158.08) and an additive interaction ($RERI=10.22$, 95%CI: 5.05 - 15.38) between non supplementation of vitamin D and low birth weight on infant motor development with positive screening results. **Conclusions** Attention should be paid to the early motor development of infants with low birth weight and those born by cesarean section, with emphasis on the dosage of vitamin D supplementation and outdoor activity

基金项目：北京市通州区科技计划项目（KJ2022CX050）

作者简介：胡月（1987-），女，主治医师，硕士学位，主要研究方向为儿童心理健康。

通信作者：鲍筝，E-mail：baozheng_219@126.com

duration. Moreover, the early screening and hierarchical management of infant motor development should also be strengthened.

Keywords: motor development; Exhaustive CHAID decision tree; interaction effect; infant

婴儿运动发展是指婴儿从抬头、抓握、翻身到走路、跑跳等，一切需要身体肌肉活动的运动发展过程，包含大运动和精细运动两个方面。运动发育迟缓指运动发育里程碑明显滞后，主要发生在 18 个月内的婴幼儿，是婴幼儿发育障碍性疾病最常见的表现[1]，目前全球报道的不同儿童运动发育迟缓患病率是 10%～27.6%不等[2-3]，婴儿早期的运动发育问题会直接或间接影响婴儿语言、神经精神发育，甚至迁延到儿童期乃至成人期，影响其智力、社会生存能力和个人成就等[4-5]。

影响婴儿运动发育的因素复杂，生物医学因素与社会心理因素等共同作用、相互影响，生物医学因素包括遗传、脑结构、围生期因素等，社会心理因素包括父母受教育水平、家庭养育方式、经济状况和医疗服务等。目前有关影响因素的研究结果不一致，可能因为不同地区的气候环境、生活方式、经济文化等差异。通州区地处北京东南，目前尚未见婴儿运动发育影响因素的相关研究。本文应用巢式病例对照研究，分析北京市通州区婴儿运动发育影响因素，寻找潜在危险因素，及时有效干预，降低发病率和致残率。

1　对象和方法

1.1　对象

1.1.1　数据来源　数据来自“北京市妇幼信息系统”儿童保健模块，本研究通过系统综合查询，导出 2020 年 1 月 1 日—2021 年 8 月 31 日在北京市通州区 21 家社区卫生服务中心进行“0～1 岁运动发育筛查”婴儿的儿童保健手册和儿童体检数据，通过 Excel 匹配儿童保健手册 ID、儿童性别、出生日期等关键变量与运动发育迟缓筛查进行连接，建立新的儿童出生队列数据库。

1.1.2　病例和对照　病例组和对照组的研究对象均来自儿童出生队列数据库，该队列研究对象共 22 902 名，剔除未进行“0～1 岁运动发育筛查”，或儿童基础信息、体检数据缺失，从其中 21 305 例有完整新出生队列数据的婴儿中收集到 416 名筛查结果“阳性”婴儿作为病例组，并从该队列筛查结果为“阴性”的 20 889 名婴儿中按照最后一次筛查月龄（1～2 月，3～5 月，6～8 月，9～12 月）数量为匹配条件随机抽取进行 1∶1匹配作为对照组，对照共纳入 416 人，其中 1～2 月龄 242 人，3～5 月龄 58 人，6～8 月龄 95 人，9～12 月 21 人，两组年龄差异无统计学意义（$P>0.05$）。纳入标准：年龄满 1～12 月；在通州区居住≥6 个月；排除标准：出生体重≥4 000g；出生孕周≥42 周。

1.2　方法

1.2.1　研究设计　应用巢式病例对照研究，回顾收集通州区儿童出生队列中，0～1 岁运动发育筛查量表筛查结果“阳性”的儿童为病例组，筛查结果“阴性”为对照组。使用 Exhaustive CHAID 构建运动发育筛查结果的分类树模型，利用该分类树模型筛选可能存在交互作用项，通过多因素非条件 Logistic 回归模型进行验证。

1.2.2　运动发育筛查工具及结果判断标准　本研究采用北京市妇幼保健院编制的“0～1 岁运动发育落后筛查卡”[6]评估 0～1 岁运动发育状况。筛查卡包含 64 项条目，筛查对象为满 1 个月～满 12 个月龄的婴幼儿。判定标准：根据小儿月龄做相应月龄的所有项目，这些项目必须全部通过，若至月龄末期仍有一项不通过，即判定为筛查阳性。该方法具有校标关联效度，重测信度为 100%，与丹佛发育筛查（Denven Developmental Screening Test，DDST）结果显著相关（$P<0.05$）。

1.2.3　主要变量定义及测量方法　1）出生体重（<2 500g 为低出生体重，≥2 500g 且<4 000g 为正常出生体重）。2）出生孕周（孕周<37 周为早产儿，≥37 周且<42 周为正常产儿）。3）补充维生素 D 剂：家长自述婴儿是生后至今是否规律补充维生素 D 及服用剂量，单位为 U/d。4）户外活动：家长自述婴儿近一个月内每天的户外活动时长，单位为小时（h）。

1.3　质量控制

通州区 21 家社区卫生服务中心儿童保健医生，每年接受市或区级“0～1 岁运动发育落后”筛查培训，区级妇幼保健院每年对 21 家社区卫生服务中心工作质控，内容包括设备设施、技术实操、登记转诊、信息录入、报表质控等。

1.4　统计学方法

采用 SPSS 21.0 对数据进行整理和分析。采用 χ^2 检验比较病例组和对照组的基本特征，采用 Logistic 回归及 Exhaustive CHAID 分类树模型探索婴儿运动发育筛查阳性的影响因素。交互作用分析：将两因素乘积项放入 Logistic 回归模型计算相乘交互作用；采用 Andersson 等[7]编制的 Excel 软件分析相加交互作用，其评价指标

包括相对超额危险度(RERI),归因比(AP),交互作用指数(S);RERI=$RR_{11}-RR_{10}-RR_{01}+1$;AP=RERI/$RR_{11}$;S=$(RR_{11}-1)/[(RR_{01}-1)+(RR_{10}-1)]$;当 RERI 和 AP 的可信区间包含 0,S 的可信区间包含 1 时,提示两因素无相加交互作用。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 婴儿运动发育筛查阳性影响因素的单因素分析 832 名婴儿,男∶女=1.03∶1;病例组∶对照组=1∶1。病例组和对照组在婴儿性别(男;女)、婴儿户籍(北京市户籍;非北京市户籍)、父亲年龄(≤25 岁;26～35 岁;36～40 岁;≥41 岁)和学历(本科以下;本科及以上),母亲年龄(≤25 岁;26～35 岁;36～40 岁;≥41 岁)和学历(本科以下;本科及以上)比较,差异均无统计学意义($P>0.05$);两组在分娩方式、出生体重、孕周、补充维生素 D 剂和户外活动时长比较,差异有统计学意义($P<0.01$)。见表 1。

表 1 婴儿运动发育筛查阳性影响因素的单因素分析(例,%)

Tab. 1 Univariate analysis of influencing factors for positive screening result for infant motor development (n, %)

因素	分组	运动发育筛查结果		χ^2 值	P 值
		阳性(n=416)	阴性(n=416)		
分娩方式	自然分娩	170(40.90)	222(53.40)	13.043	<0.001
	剖宫产	246(59.10)	194(46.60)		
出生体重(g)	<2 500	58(13.90)	21(5.00)	19.147	<0.001
	2 500～<4 000	358(86.10)	395(95.00)		
孕周	<37	68(16.30)	34(8.20)		
	37～40	330(79.30)	356(85.60)	13.773	0.001
	41～<42	18(4.30)	26(6.30)		
是否补充维生素 D 剂	无	53(12.70)	25(6.00)	11.091	0.001
	是	363(87.30)	391(94.00)		
户外活动时长(h/d)	>1	27(6.50)	61(14.70)	14.690	<0.001
	≤1	389(93.50)	355(85.30)		

2.2 婴儿运动发育筛查阳性影响因素的分类树模型 婴儿运动发育筛查阳性影响因素的 Exhaustive CHAID 分类树模型共包含 3 层,11 个结点,其中有 6 个终末结点,共筛选出 4 个解释变量,分别是分娩方式、出生体重、是否补充维生素 D 剂和户外活动时长。婴儿运动发育筛查阳性首要影响因素是出生体重,户外活动时长是影响低出生体重儿运动发育的重要因素;是否补充维生素 D 剂是影响出生体重≥2 500g 婴儿运动发育的首要因素,其中未补充维生素 D 剂运动发育筛查阳性的主要风险因素为户外活动时长≤1h/d;补充维生素 D 剂的婴儿中,运动发育筛查阳性的主要风险因素为剖宫产。见图 1。

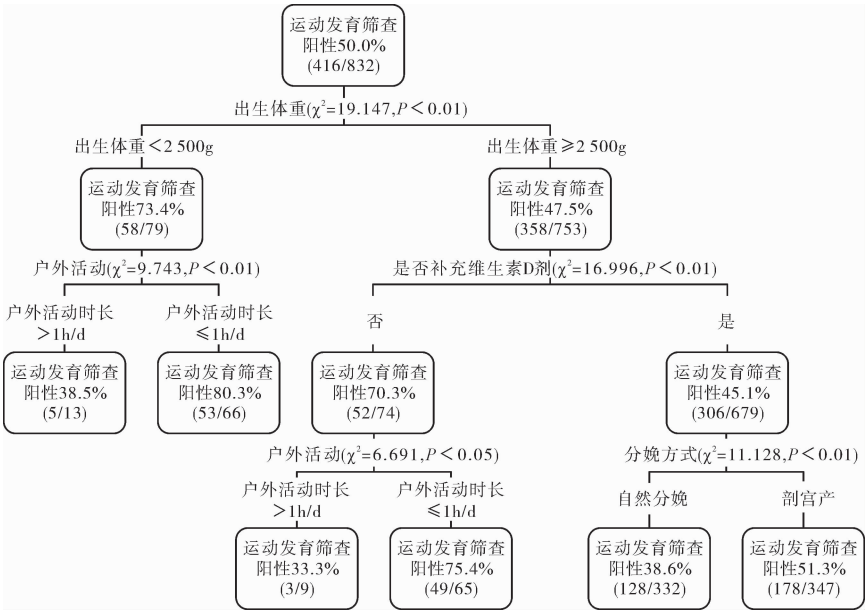


图 1 婴儿运动发育筛查阳性影响因素的分类树模型

Fig. 1 Exhaustive CHAID decision tree on influencing factors of positive screening result for infant motor development

2.3　出生体重与补充维生素 D 剂影响婴儿运动发育筛查阳性的交互作用分析　低出生体重与未补充维生素 D 剂同时存在时，婴儿运动发育阳性风险增加到 13.76 倍（*OR*＝13.76，95%*CI*：8.47～22.37）。见表 2。相乘交互作用分析发现低出生体重与未补充维生素 D 剂对婴儿运动发育阳性风险存在相乘交互作用（*OR*＝13.76，95%*CI*：1.20～158.08）；相加交互作用分析发现低出生体重与未补充维生素 D 剂同时存在，婴儿运动发育筛查阳性风险大于其独立存在的风险（*RERI*＝10.22，95%*CI*：5.05～15.38），且有正交互作用（*S*＝5.01，95%*CI*：2.68～9.36）。

2.4　婴儿运动发育筛查阳性影响因素的多因素 Logistic 回归分析　多因素 Logistic 回归模型分析，婴儿运动发育为因变量（运动发育筛查阴性＝0，阳性＝1），所有单因素均作为自变量，采用逐步回归法，控制了婴儿性别、户籍、父亲年龄和学历，母亲年龄和学历，及孕周，最终进入模型的危险因素是出生体重＜2 500g、剖宫产、户外活动时长≤1h 和未补充维生素 D 剂（*P*＜0.01）。见表 3。

表 2　出生体重与补充维生素 D 剂因素对通州区婴儿运动发育筛查阳性的交互作用分析

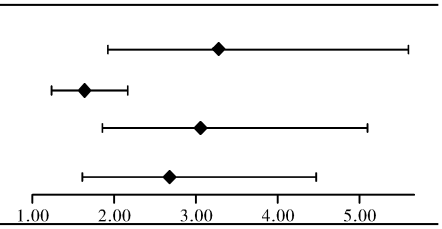
Tab. 2　Interaction analysis of vitamin D supplementation and birth weight on positive screening results for infant motor development

出生体重＜2 500g	补充维生素 D 剂	病例组/对照组（*n*）	*OR* 值（95%*CI*）
是	是	1/3	13.76（8.47～22.37）
是	否	57/18	4.53（2.71～7.57）
否	是	52/22	0.02（0.01～0.03）
否	否	306/373	1

表 3　婴儿运动发育筛查阳性的多因素 Logistic 回归模型分析和森林图

Tab. 3　Multivariate Logistic regression analysis on influencing factors of positive screening for infant motor development and the forest plot

影响因素	对照组	*B* 值	$S_{\bar{x}}$ 值	Waldχ^2 值	*P* 值	*OR* 值（95%*CI*）
出生体重＜2 500g	≥2 500g	1.187	0.273	18.881	＜0.001	3.28（1.92～5.60）
分娩方式为剖宫产	自然分娩	0.490	0.145	11.427	0.001	1.63（1.23～2.17）
户外活动时长≤1h/d	＞1h/d	1.123	0.258	18.949	＜0.001	3.07（1.85～5.10）
未补充 VitD	服用 VitD	0.987	0.261	14.349	＜0.001	2.68（1.61～4.47）



3　讨　论

3.1　低出生体重和未补充维生素 D 剂交互影响婴儿运动发育　研究显示低出生体重[8]、出生异常 BMI[9]对婴幼儿运动发育有明显不良影响，尤其极低出生体重儿有很大运动障碍风险[10]。婴儿补充 400U/d 维生素 D 较其他剂量婴儿粗大运动评价得分高[11]，干预研究发现补充维生素 D 可以显著改善 6～12 月患儿精细和粗大运动发育迟缓[12]。本文分类树模型和 Logistic 分析结果均显示，婴儿低出生体重和未补充维生素 D 是影响婴儿运动发育筛查阳性的主要危险因素，两因素同时存在时婴儿运动发育筛查阳性是两者单独存在风险之和的 5.01 倍。研究称维生素 D 在促进神经发育和神经保护方面有重要作用，通过大脑多巴胺系统传递神经元影响婴儿运动发育水平[13]。出生体重越低，维生素 D 水平也越低，所以我国 2022 年《3 岁以下婴幼儿健康养育照护指南（试行）》[14]提出早产或低出生体重儿生后数日内补充维生素 D800～1 000U/d，3 个月后 400U/d。本研究认为要重视低出生体重儿维生素 D 的补充及监测，特别是极低出生体重儿需要及时调整维生素 D 补充剂量，同时做好婴儿期运动发育的常规筛查和早期干预。

3.2　剖宫产对婴儿运动发育影响结果不一致，有待深入研究　国外 Zaigham 等[15]研究显示剖宫产影响 4 月龄婴儿大运动和精细动作发育，影响 12 月龄婴儿大运动发育；国内郑瑞娟等[16]研究显示分娩方式对婴儿粗大运动和精细运动影响无差异。本文通过 Logistic 分析结果显示，剖宫产是影响婴儿运动发育的危险因素，分类树模型结果显示剖宫产对运动发育的影响在正常出生体重且生后常规补充维生素 D 剂的婴儿中较为突出。目前分娩方式对婴儿运动发育的影响学者们研究结果尚不一致，可能与剖宫产分类不同有关，而本研究未对是否具备剖宫产医学指征分类，不排除有医学指征的剖宫产对婴儿运动发育筛查结果影响的可能，提示选择分娩方式时，应科学评估剖宫产医学指征，充分考虑给母婴带来的近期风险和远期不良影响，减少儿童运动发育迟缓的发生。对于分娩方式对婴儿运动发育的影响，有待进一步研究。

3.3 每天户外活动 1h 以上可降低婴儿运动发育阳性风险 Lyndel 等[17]对美国、加拿大和澳大利亚等研究建议婴儿每天 1～2 次户外活动，美国 CFOC[18]建议出生到 12 个月大的婴儿应视情况每天户外活动 2～3 次，但未推荐户外活动时长，Barnett 等[19]对 9 月龄婴儿的一项前瞻性队列研究发现，每周 77～257min 户外活动时长的婴儿比每周 34～39min 户外时长的婴儿拥有更好的身体移动技能等大运动能力。本研究显示婴儿期若能每天户外活动 1h 以上，发生运动迟缓风险的机率将降低，尤其是未常规补充维生素 D 婴儿，应加强每天户外活动。早期户外活动能使婴儿接受外界多种刺激，有利于视觉、听觉、运动系统及大脑发育，今后针对户外活动时间段选择、活动形式，及户外设备设施提供等可做深入研究。

本研究的不足和局限性：1）本文样本量有限，可能影响分类树模型的稳定性。2）本文为回顾性研究，未能排除其他潜在混杂因素（如养育质量、家庭结构、家庭经济情况等）对结果的影响。3）采用的“0～1 岁运动发育落后筛查卡”是筛查方法，不能作为临床诊断的依据。

参考文献

[1] Kliegman RM, Stanton BF, GEME JW, et al. Nelson textbook of pediatrics. 21th ed[M]. Philadelphia (PA): Elsevier Inc, 2020: chapter Ⅱ.

[2] Clariana VRDO, Cláudia NT, Palombo, JJ, et al. Is family social exclusion associated with child motor and socioemotional development delay? A cross-sectional exploratory study[J]. Nursing Open, 2023, 10(8): 5024-5034.

[3] 沈力，田园，于广军，等. 上海市高危儿神经发育情况及其影响因素分析[J]. 中国儿童保健杂志，2019，27(4)：366-369.
Shen L, Tian Y, Yu GJ, et al. Analysis of the neurodevelopment and its influencing factors of high-risk infants in Shanghai[J]. Chin J Child Health Care, 2019, 27(4): 366-369. (in Chinese)

[4] Beatrice A, Rigo F, Rossi G, et al. Do motor skills impact on language development between 18 and 30 months of age? [J]. Infant Behav Dev, 2022, 66: 101667.

[5] De Souza CDR, Padovani LF, Ferreira-Donati GC, et al. Babies with pierre robin sequence: Neuropsychomotor development[J]. Pediatr Neurol, 2023, 141: 72-76.

[6] 梁明丽，梁爱民，闫淑娟. 婴儿运动发育迟缓社区筛查方法研究[J]. 中国儿童保健杂志，2015，23(7)：753-755.
Liang ML, Liang AM, Yan SJ. Research of community screening method of infant motor developmental delay[J]. Chin J Child Health Care, 2015, 23(7): 753-755. (in Chinese)

[7] Andersson T, Alfredsson L, Kllberg H, et al. Calculating measures of biological interaction[J]. Eur J Epidemiol, 2005, 20 (7): 575-579.

[8] 李林林，李瑞莉，政晓果. 我国 20 省市 0～23 月龄婴幼儿大运动发育影响因素研究[J]. 中国妇幼保健，2022，37(10)：1849-1853.
Li LL, Li RL, Zhen XG. Study on influencing factors of gross motor development in infants aged 0～23 months in 20 provinces and cities in China[J]. Maternal and Child Health Care of China, 2022, 37(10): 1849-1853. (in Chinese)

[9] Yang Y, Shi L, Jin X, et al. Association of perinatal factors with suspected developmental delay in urban children aged 1～36 months-a large-scale cross-sectional study in China [J]. BMC Pediatrics, 2023, 23(1): 1-11.

[10] Brown L, Burns YR, Watter P, et al. Randomised clinical trial of group-based physiotherapy in extremely low birthweight children with minimal/mild motor impairment: A preliminary study[J]. J Paediatr Child Health, 2020, 56(5): 727-734.

[11] Weiler HA, Hazell TJ, Majnemer A, et al. Vitamin D supplementation and gross motor development: A 3-year follow-up of a randomized trial[J]. Early Hum Dev, 2022, 171: 105615.

[12] 吕楠，马彩云，李靖婕，等. 维生素 AD 在运动发育迟缓患儿康复治疗中的作用[J]. 中国儿童保健杂志，2020，216(6)：77-80.
Lyu N, Ma CY, Li JJ, et al, Role of vitamin AD in the rehabilitation of children with exercise retardation[J]. Chin J Child Health Care, 2020, 216(6): 77-80. (in Chinese)

[13] Mutua AM, Mogire RM, Elliott AM, et al. Effects of vitamin D deficiency on neurobehavioural outcomes in children: A systematic review[DB/OL]. Wellcome Open Research, 2020, 5: 28. https://doi. org/10. 12688/wellcomeopenres. 15730. 1.

[14] 国家卫生健康委办公厅. 关于印发 3 岁以下婴幼儿健康养育照护指南（试行）的通知：国卫办妇幼函[2022]409 号[A].
National Health Commission of the people's Republic of China. Notice on the foster care guidelines (trial) within 3 years from national health committee general office: Maternal and children[2022]no. 409[A]. (in Chinese)

[15] Zaigham M, Hellström-Westas L, Domellöf M, et al. Prelabour caesarean section and neurodevelopmental outcome at 4 and 12 months of age: An observational study[J]. BMC Pregnancy Childbirth, 2020, 20(1): 564.

[16] 郑瑞娟，耿建，董献文，等. 0～1 岁婴儿 109 例神经心理发育现状调查及影响因素分析[J]. 中国医药科学，2020，10(20)：1-5.
Zhen RJ, Gen J, Dong XW, et al. Investigation of neuropsychological development status of 109 infants aged 0～1-year-old and analysis of the impacting factors[J]. China Medicine and Pharmacy, 2020, 10(20): 1-5. (in Chinese)

[17] Lyndel H, Sara E, Benjamin N, et al. Child care centre adherence to infant physical activity and screen time recommendations in Australia, Canada and the United States: An observational study[J]. Infant Behav Dev, 2018, 50(2): 88-97.

[18] American Academy of Pediatrics, American Public Health Association, National Resource Center for Health and Safety in Child Care and Early Education. Caring for our children: National health and safety performance standards; Guidelines for early care and education programs[EB/OL]. (2018-05-29)[2023-04-12]. https://nrckids. org/CFOC/Database/3. 1. 3. 1

[19] Barnett LM, Hnatiuk JA, Salmon J, et al. Modifiable factors which predict children's gross motor competence: A prospective cohort study[J]. Int J Behav Nutr Phys Act, 2019, 16(1): 1-11.

收稿日期：2023-06-06 **修回日期**：2023-11-10 **本文编辑**：杨媛媛