·综 述·

婴幼儿早期动作发育异常预测性应用进展

孙泽容，钱永东

浙江师范大学体育与健康科学学院，运动人体科学实验室，浙江 金华 321004

摘 要： 尽管早产和高危婴幼儿的存活率显著提高，但幸存婴幼儿面临着发展为脑瘫等神经发育障碍的高风险。婴儿的发育呈现动态连续变化趋势，这使得仅凭一次检查很难将儿童的运动发育水平分类为正常或异常。本文就全身运动评估（GMA）和 Alberta 婴儿运动量表（AIMS）在婴幼儿早期评估和随访中的预测有效性应用进展进行综述，以便及时对具有潜在运动风险的幼儿进行干预。

关键词： Alberta 婴儿运动量表；全身运动评估；婴幼儿；预测价值

中图分类号：R174 **文献标识码：**A **文章编号：**1008-6579(2024)05-0538-05 doi:10.11852/zgetbjzz2023-1042

Advances in the predictive application of abnormal early motor development in infants and toddlers

SUN Zerong, QIAN Yongdong

Exercise Human Science Laboratory, College of Physical Education and Health Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China

Corresponding author: QIAN Yongdong, E-mail: tyxyqyd@zjnu.cn

Abstract: Despite a more significant improvement in survival rates of premature and high-risk infants, surviving infants face a high risk of developing neurodevelopmental disorders such as cerebral palsy. Infant development is characterized by a dynamic continuum, which makes it difficult to classify a child's level of motor development as normal or abnormal on the basis of a single examination. This article provides a review of advances in the application of the predictive validity of General Movement Assessment (GMA) and the Alberta Infant Motor Scale (AIMS) in the early assessment and follow-up of infants and toddlers, in order to intervene in a timely manner with young children at potential motor risk.

Keywords: Alberta Infant Motor Scale; General Movement Assessment; infant; predictive value

随着围产医学的飞速发展，早产和高危婴幼儿的存活率有了较为显著的提高。然而，幸存婴幼儿面临着神经发育障碍的高风险，如脑瘫和认知发育障碍等[1]。研究显示极低出生体重早产儿患神经发育障碍的风险高达 74%，只有 25.7%的婴儿在积极治疗后存活至出院[2]。婴儿的发育呈现动态连续变化趋势，并非按照一成不变的速率完成一个个发育里程碑[3]，这使得仅凭一次检查很难将儿童的运动发育水平分类为正常或异常。寻求一套操作便捷，灵敏度高，能够有效预测高危儿运动功能的评测工具就显得尤为重要。本文就全身运动评估（general movement assessment，GMA）和 Alberta 婴儿运动量表（Alberta Infant Motor Scale，AIMS）在婴幼儿早期评估和随访中的预测有效性应用进展进行综述，旨在为筛查和预测运动发育异常提供参考工具，以便及时对具有潜在运动风险的幼儿进行干预。

1 常用婴幼儿早期临床评估工具概述及优缺点

1.1 全身运动评估 全身运动（general movements，GMs）是指婴幼儿整个身体（包括颈部、躯干和四肢）参与的一种复杂多变的运动，可以在妊娠 10 周的胎儿中观察到，并一直持续到出生后 5 月龄左右。该运动在强度、力量和速度上时断时续，开始和结束都是渐进的，使用全身运动评估（GMA）可对其进行可靠评估，该技术在预测婴幼儿脑瘫（cerebral palsy，CP）等神经系统发育障碍和筛查潜在运动风险中具有较高价值[4]。GMA 根据婴幼儿生长历程可分为以下阶段，即扭动运动阶段（足月后 2 月龄以内）和不安运动阶段（足月后 2～5 月龄期间）。异常扭动运动阶段可划分成单调型（poor repertoire，PR）、痉挛-同步型（cramped-synchronized，CS）和混乱型（chaotic，Ch）3 种类型；不安运动阶段包括正常不安运动（normal fidgety movements，

基金项目：浙江师范大学横向课题（KYH06Y21383）

作者简介：孙泽容（2000-），女，硕士研究生在读，主要研究方向为婴幼儿动作发展、青少年科学健身和运动健康促进。

通信作者：钱永东，E-mail：tyxyqyd@zjnu.cn

NF)，不安运动阶段缺乏(absence of fidgety movements，F-)和异常性不安运动(abnormal fidgety movements，AF)[5-6]。

1.2　Alberta 婴儿运动量表　AIMS 是一种依靠评估者观察婴儿粗大动作进行量化评估的工具。AIMS 除了对儿童的运动技能发育速度进行检测外，还具有发现动作技能缺陷或异常的优点。它包括 4 种评估体位，共 58 个评估项目，其中 21 个为俯卧位，9 个为仰卧位，12 个为坐位，16 个为站立姿势评估项目。评估者会按照“观察到”(1 分)或“未观察到 ”(0 分)给每一项进行评分，从而得到 AIMS 的原始分，将其通过年龄匹配得出该儿童在当前年龄所处的百分范围，百分范围越高，越不易出现运动发育异常。AIMS 匹配百分位范围＜5%属于动作发育异常，5%～10%属于可疑发育异常，＞10%属于动作发育正常。AIMS 以正常儿童为参考，可以比较同龄儿童之间的动作发育情况[7-8]。

1.3　GMA 和 AIMS 的优缺点　GMA 和 AIMS 是婴儿早期最常用的两种临床评估工具。GMA 属于标准化评估量表，是婴儿出生后 5 月龄内高度预测脑瘫的工具[9]，AIMS 属于筛查性量表，更适合婴儿出生后 18 月龄内的脑瘫预测。本文对 GMA 和 AIMS 的适用年龄、测试程序及优缺点等进行了总结。见表 1。

表 1　常用预测婴幼儿早期动作发育异常测评量表

Tab. 1　Commonly used scales for predicting abnormalities in early motor development in infants and toddlers

量表	全身运动评估(GMA)	Alberta 婴儿运动量表(AIMS)
作者(出版年份)	奥地利 HF Prechtl (1990 年)	加拿大 Martha Piper、Johanna Darrah(1994 年)
适用年龄	妊娠 9～10 周至出生后 4～5 月龄	0～18 月龄
评估方法	直接观察、录像观察	观察式评估
测试时间	10～30min	20～30min
测试程序	拍摄婴儿在无刺激下的自发运动，在录像带中完成评分。	观察婴儿俯卧、仰卧、坐着、站着时的姿态。
测试领域	粗大运动	粗大运动
优点	预测婴幼儿运动发育异常敏感性和特异性高，可作为超早期预测婴幼儿神经发育结局的评估工具。	预测婴幼儿运动发育异常敏感性高；评估者培训简单，临床耗时短，操作便捷。
缺陷	评估者需要经过标准化的课程培训才能正确使用，费用昂贵，对评测条件和技术含量要求高，不易于在临床上普遍推广使用。	预测特异性低，存在天花板效应；在国内未建立常模，可能会将发育异常的幼儿归为正常水平。

2　全身运动评估的预测性应用进展

2.1　全身运动评估在高危婴幼儿神经发育结局中的预测价值　国内外大量研究证实了全身运动评估预测婴幼儿神经系统损伤的敏感性和阴性预测值较高，可作为高危婴幼儿超早期发现运动发育异常的评估工具。

2.1.1　早产婴幼儿　Barnes 等[10]采用 GMs 对体重低于 1 500g 的极低出生体重婴儿进行评估，并在 2 岁时矫正月龄，以及应用 Bayley 婴幼儿发展量表(Bayley Scales of Infant Development-Ⅲ，BSID-Ⅲ)预测神经发育结局。结果显示足月后 3 个月 F-能高度预测 CP，预测的敏感性、阴性预测值均为 100%，特异性 99.2%，阳性预测值 85.7%，准确性 99.2%；PR 预测 CP 的敏感性和阴性预测值均为 100%，特异性 57%，阳性预测值 16.7%，准确性 60.3%；不安运动结合 PR 可有效预测婴幼儿各领域的不良发育结果，预测 CP 的敏感性、阴性预测值均为 100%，特异性 97.1%，阳性预测值 83%，准确性 97.5%。

2.1.2　脑损伤婴幼儿　Aker 等[11]证实了新生儿磁共振成像(neonatal magnetic resonance imaging，MRI)和 GMA 在预测缺血缺氧性脑病新生儿(hypoxic-ischemic encephalopathy，HIE)神经发育结局中具有相似的准确性。结果显示 MRI 预测的敏感性 61.5%，特异性 90.0%，阳性预测值 72.7%，阴性预测值 84.4%，准确性 81.4%；GMA 预测的敏感性 60.0%，特异性 89.3%，阳性预测值 66.7%，阴性预测值 86.2%，准确性 81.6%。但 MRI 价格昂贵，很难在低收入国家广泛应用，GMA 更具时间效益和成本，是 MRI 一种很好的替代工具。Seesahai 等[12]对患脑病(neonatal encephalopathy，NE)的新生儿(≥34 周胎龄)预测价值进行综述，表明婴儿 3～5 月龄时异常 GMA 评估对 CP 特异性和阴性预测值高，均为 84.6%～98%；幼儿 3 月龄时缺乏不安运动未来转化为中至重度 CP 的风险很高，预测 CP 的特异性 96%，阴性预测值 98%；妊娠期和产后 4～5 月龄期间，CS 是 2 岁前诊断 CP 的预测因子，敏感性、特异性、阳性和阳性预测值均为 100%。此外，GMA 后期预测价值更好，其轨迹作为 CP 预测因子更重要。

2.1.3 寨卡病毒呈阳性婴幼儿 Einspieler 等[13]认为出生后 3～5 月龄婴幼儿最具预测性的 GMA 运动模式是不安运动阶段，F-是后期预测 CP 的可靠标志。该研究对 444 例产后 9～20 周的婴幼儿进行 GMA 评估，并于 12 月龄时应用 BSID-Ⅲ确定所有感染寨卡病毒(Symptomatic Zika virus，ZIKV)且未患小头畸形婴幼儿的神经发育结局。结果显示其中大部分 ZIKV 阳性且未患小头畸形的婴儿发育正常，但也存在许多婴儿发育不正常。GMA 能可靠识别出发育异常的婴幼儿，阴性预测值 94%，阳性预测值 78%，敏感性 70%，特异性 96%，准确性 91%。

2.2 基于计算机技术辅助的全身运动评估应用 GMs 使用视觉 Gestalt 知觉来确定婴幼儿运动模式，并对其进行定性分析，评估者必须参加专业培训才能获取评估资格，且评估结果还需要另一名专业的评估者核实，方能保证评估质量[14]。目前，为了克服视觉 Gestalt 知觉评估的主观性，针对 GMs 的多种计算机识别技术正在由众多研究者进行探索。Morais 等[14]提出了一种易于检查且具有高度解释性的 FidgetyFind 方法，用于识别不安运动强度并评估婴儿 GMs 质量。与现有的间接方法相比，它能将测量结果减少到一个单一的分数，从而量化婴儿 GMs 质量，使得评估结果更准确。Tsuji 等[15]提出了一种无标记的运动测量与评价系统，避免 GMs 人为评估时干扰到婴儿的自发运动。结果显示该系统通过视频分析能够准确地捕捉婴儿动作特征，并对其进行分类，正常和异常运动分类的准确率达到(90.2±0.94)%，表明该系统可以支持足月和低出生体重婴儿的早期诊断。Groos 等[16]开发了一种基于深度学习的 CP 预测模型。结果显示与传统机器学习相比，深度学习模型预测准确性提高，有了实质性的改进。基于深度学习模型预测 CP 的敏感性 71.4%，特异性 94.1%，阳性预测值 68.2%，阴性预测值 94.9%，准确性 90.6%；GMA 敏感性 70.0%，特异性 72.9%，阳性预测值 31.9%，阴性预测值 94.4%，准确性 85.9%；传统机器学习敏感性 71.4%，特异性 72.9%，阳性预测值 31.9%，阳性预测值 93.5%，准确性 72.7%。Hesse 等[17]利用 RGB-D 传感器和笔记本电脑，提出了一种从自由运动婴儿的 RGB-D 序列中学习身体模型(Skinned Multi-Infant Linear model，SMIL)的方法，结果显示 SMIL 能较好地反映 RGB-D 数据，并分解婴儿身体的形状和姿势，同时能获取 GMA 所需要的婴儿运动细节，两位专家对 GMA 的评分达到 91%和 79%的一致性，是一种在临床实践中早期检测婴儿神经发育障碍的有效方法。

2.3 全身运动评估与其他测评工具联合使用以提高预测准确性 临床应用中切不可仅用一种工具确诊幼儿运动发育情况。GMA 具有良好的预测有效性，但随着婴幼儿年龄增长，会因其神经发育障碍表现方式发生改变(例如单侧脑损伤患儿诊断为单侧痉挛性 CP 后随着年龄增长全身性症状也会愈加不对称)而变得不稳健。GMA 评测只涉及到婴幼儿运动发育质量，未涉及到神经发育方面，故需要结合其他工具进行多重评估以提高预测准确性。Seesahai 等[12]指出 GMA 比传统的神经学检查更敏感，与神经影像学、脑电图(electroencephalogram，EGG)和 Hammersmith 婴儿神经检查(Hammersmith Infant Neurological Ex-amination，HINE)等其他方式联合使用时，敏感性会增加。此外，高危婴幼儿(尤其是早产儿)在矫正月龄 2～4 个月时，GMA 结合 MRI 在足月等效年龄(term equivalent age，TEA)的扫描结果预测 CP 效果最好，并能高度预测新生儿正常结果[11,18]。然而，从 4～5 个月开始，GMs 逐渐消失，因此需要寻找其他可靠的早期运动行为定性评估，婴儿运动概况(The Infant Motor Profile，IMP)因其出色的心理测量性能及便捷的操作而成为 MRI 有效的替代工具[19]。

3 Alberta 婴儿运动量表预测性应用进展

3.1 AIMS 与其他测评工具的关系进展

3.1.1 一致性进展 Danks 等[20]对 191 例婴幼儿在矫正月龄 4 月、8 月时采用 AIMS 和神经-感觉运动发育评估(Neuro-Sensory Motor Developmental Assessment，NSMDA)，12 月时行格里菲斯心理发育评估量表(Griffiths Mental Development Scale，GMDS)，证实了 AIMS 与 NSMDA 具有高度一致性。结果显示 AIMS 和 NSMDA 在 4、8 和 12 月评定为“低正常”运动技能的婴幼儿分别为 50.32%、35.37%、14.86%和 38.75%、45.27%、27.27%，表明“低正常”运动技能婴幼儿发生轻微运动损伤的风险高。

3.1.2 相关性进展 Fauls 等[21]在 84 名儿童中证实了第三版粗大肌肉运动年龄与发育进程问卷(Ages and Stages Questionnaire，Third Edition，ASQ-3-GM)在识别幼儿轻微运动障碍时与 AIMS 百分位等级密切相关。ASQ-3-GM“参考”临界值是幼儿粗大运动异常的有效预测指标，具有 77%的敏感性、73%的特异性、81%的阳性预测值和 69%的阴性预测值，用于识别在 AIMS 上得分≤P_5的儿童，以及 77%的敏感性、91%的特异性、95%的阳性预测值和

63%的阴性预测值，以识别得分≤P_{10}的儿童。Ustad 等[22]对 139 例（胎龄≤32 周）极早早产儿在 6 月龄和 12 月龄时采用 AIMS 和 Peabody 运动发育量表（Peabody Developmental Motor Scales-2，PDMS-2）进行评估。结果显示 AIMS 与 PDMS-2 之间相关性最高的是运动分量表，与其他子量表之间仅存在中等相关性。6 月龄时二者（总运动和运动分量表）的相关系数为 0.44 和 0.76，12 月龄时相关系数为 0.56 和 0.80；AIMS 和 PDMS-2 对婴儿 24 月龄时的非典型运动功能预测效度，AIMS 分别为 0.87 和 0.86，PDMS-2 的运动分量表分别为 0.82 和 0.76，以上表明 AIMS 和 PDMS-2 的运动分量表相关性为良好至极好，能高度预测出生后 24 月龄婴儿的运动发育异常，在评估 6～12 月龄婴儿的运动发育水平时可以互换使用。

3.1.3　预测价值的对比进展　王翠等[3]选取 46 例高危儿进行 AIMS 评估，将 PDMS-2 作为对照，分析 6 月龄与 2 岁时的随访结果，表明 AIMS 在评估小月龄高危儿应用中敏感性更高，但特异性低。结果显示 AIMS 敏感性 85.7%，特异性 73.1%，阳性预测值 72.0%，阴性预测值 86.4%；PDMS-2 敏感性 52.4%，特异性和阳性预测值均为 1.0%，阴性预测值 72.2%。Rizzi 等[19]在 86 例神经发育障碍婴儿中比较了 IMP 和 AIMS 预测 5 月龄婴儿异常结果的能力。结果显示 IMP 在神经发育障碍早期检测中准确率较高，最佳的 IMP 总分临界值为 70，预测神经发育障碍具有较高的灵敏度（93%）和特异性（81%），比 AIMS 更能准确反映婴儿脑损伤的严重程度。

3.2　AIMS 判断高危婴幼儿运动发育异常的百分位参考值进展　目前，AIMS 对高风险婴儿的运动发育评估缺乏统一标准，多数研究认为 AIMS 百分位低于 P_5 或 P_{10} 是判断运动发育异常的依据。然而，临床研究发现，许多患儿（尤其是早产儿）的 AIMS 百分位参考值高于 P_5 或 P_{10}[23]。Eliks 等[24]在 431 例（0～19 月龄）足月婴幼儿研究中发现加拿大原始参考值与波兰婴儿存在差异，尤其是 6～7 月龄和 15～16 月龄及第 P_{75} 差异尤为明显，表明在应用 AIMS 之前，需要对不同国家人口的 AIMS 评分进行标准化。此外，AIMS 还存在“天花板效应”，仅限于能够独立行走的幼儿，而独立行走的能力通常在 18 月龄时形成。目前，我国将 AIMS 应用于临床研究时还是沿用加拿大常模数据来确定婴幼儿百分位所处的位置，这可能将轻微运动发育异常幼儿归结为正常范围。卞珊珊等[23]建议在足月和 1 岁以上的早产高危儿中取 AIMS 百分位＜P_{10} 作为判断婴幼儿异常的参考标准。

3.3　婴幼儿血液中可能导致 AIMS 评分降低的生物因素进展　致使婴幼儿神经发育功能发生损害的因素中除了胎儿期、分娩时或新生儿期受到高危因素的影响之外，还会因幼儿体内缺乏微量元素或母体感染流行病等因素发生损伤，并对幼儿生殖、激素和免疫系统以及代谢状况产生一系列负面健康影响[25]。Ljungblad 等[26]指出铁蛋白水平和网织红细胞血红蛋白（reticulocyte hemoglobin，ret-Hb）被用作铁储量的标志，在 252 名 3～7 月龄的婴幼儿中进行 AIMS 评估，证实了婴幼儿缺铁与粗大运动评分和运动发育迟缓存在关联。结果显示 2 岁时铁蛋白＜51μg/L 和 ret-Hb＜28pg 的婴儿在 AIMS 粗大动作得分低，可能出现神经发育受损。Mulkey 等[27]应用 AIMS、适应性和功能性技能的初步发展评估（Warner Initial Developmental Evaluation of Adaptive and Functional Skills，WIDEA）对 70 例婴幼儿进行神经发育评估，指出母亲在怀孕期间感染 ZIKV 病毒但出生后未患先天性寨卡综合症的婴幼儿 AIMS 评分低。尽管许多婴幼儿在 18 月龄时评分正常，但随着时间推移，一些婴幼儿在多个发育领域的评分低于标准平均分，表明未来发生轻微神经发育障碍的风险高，应该抓住优化早期干预的机会。

4　GMA 和 AIMS 的适用与展望

婴幼儿脑发育受到多种复杂因素影响，难以通过单一的技术和方法百分百对其进行预测。GMA 在临床研究和随访中可作为超早期发现婴幼儿运动发育异常的评估工具，其中 CS 和 F-预测价值最高，评分为正常的幼儿在未来几乎不会转化为中至重度运动障碍；AIMS 在早期筛查中具有很高的灵敏性，比 PDMS-2 更适合筛查出发育异常的幼儿，可为康复治疗师评估患儿运动发育提供客观数据，具有较高的临床价值。

GMA 与 MRI 等神经影像学及计算机辅助技术联合使用可有效提高预测不良结局的价值。但目前基于计算机技术辅助的 GMA 研究在国内尚未起步，国外也存在缺乏统一的应用标准和价格昂贵等问题，实际应用价值需要进一步扩大样本量研究；AIMS 存在天花板效应，其评分还会受到幼儿体内微量元素及母体感染流行病等因素的影响。国内也缺乏 AIMS 的百分位参考值研究，由于常模为加拿大儿童，因此需要建立国内常模。本文梳理的 GMA 和 AIMS 临床结果因样本量、随访时间、评估系统等存在差异，故不能推广到所有神经发育障碍风险的婴幼儿，未来期望上述问题能在临床中进一步得到

验证和解决，使得预测结果更为可信、准确。

参考文献

[1] Serenius F, Ewald U, Farooqi A, et al. Neurodevelopmental outcomes among extremely preterm infants 6.5 years after active perinatal care in Sweden[J]. JAMA Pediatr, 2016, 170(10): 954-963.

[2] Brumbaugh JE, Hansen NI, Bell EF, et al. Outcomes of extremely preterm infants with birth weight less than 400g[J]. JAMA Pediatr, 2019, 173(5): 434-445.

[3] 王翠，李一芳，黄真，等. Alberta 婴儿运动量表与 Peabody 粗大运动发育量表在高危儿中的预测能力研究[J]. 中国康复医学杂志，2019，34(3)：293-296.
Wang C, Li YF, Huang Z, et al. Psychometrics study of Alberta Infant Motor Scale and Peabody Developmental Gross Motor Scale in high[J]. Chin J Rehabil Med, 2019, 34(3): 293-296. (in Chinese)

[4] Prechtl HF, Einspieler C, Cioni G, et al. An early marker for neurological deficits after perinatal brain lesions[J]. Lancet, 1997, 349(9062): 1361-1363.

[5] Einspieler C, Prechtl HF. Prechtl's assessment of general movements: A diagnostic tool for the functional assessment of the young nervous system[J]. Ment Retard Dev Disabil Res Rev, 2005, 11(1): 61-67.

[6] Kl Kwong A, Spittle AJ. Clinimetrics: The prechtl general movements assessment[J]. J Physiother, 2023, 69(3): 195.

[7] Piper MC, Darrah J. Motor assessment of the developing infant. Alberta Infant Motor Scale[M]. Philadelphia, PA: Saunders, 1994: 30-33.

[8] Darrah J, Piper M, Watt MJ. Assessment of gross motor skills of at-risk infants: Predictive validity of the Alberta Infant Motor Scale[J]. Dev Med Child Neurol, 1998, 40(7): 485-491.

[9] 张雨平. 婴幼儿脑损伤及其早期评估[J]. 中国儿童保健杂志，2023，31(2)：123-125.
Zhang YP. Brain injury and early assessment in infants[J]. Chin J Child Health Care, 2023, 31(2): 123-125. (in Chinese)

[10] Barnes F, Graham L, Loganathan P, et al. General movement assessment predicts neuro-developmental outcome in very low birth weight infants at two years-a five-year observational study[J]. Indian J Pediatr, 2021, 88(1): 28-33.

[11] Aker K, Thomas N, Adde L, et al. Prediction of outcome from MRI and general movements assessment after hypoxic-ischaemic encephalopathy in low-income and middle-income countries: Data from a randomised controlled trial[J]. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed, 2022, 107(1): 32-38.

[12] Seesahai J, Luther M, Church PT, et al. The assessment of general movements in term and late-preterm infants diagnosed with neonatal encephalopathy, as a predictive tool of cerebral palsy by 2 years of age-a scoping review[J]. Syst Rev, 2021, 10(1): 226-239.

[13] Einspieler C, Utsch F, Brasil P, et al. Association of infants exposed to prenatal zika virus infection with their clinical, neurologic, and developmental status evaluated via the general movement assessment tool[J]. JAMA Netw Open, 2019, 2(1): e187235.

[14] Morais R, Le V, Morgan C, et al. Robust and interpretable general movement assessment using fidgety movement detection[J]. IEEE J Biomed Health Inform, 2023, 27(10): 5042-5053.

[15] Tsuji T, Nakashima S, Hayashi H, et al. Markerless measurement and evaluation of general movements in infants[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 1422.

[16] Groos D, Adde L, Aubert S, et al. Development and validation of a deep learning method to predict cerebral palsy-from spontaneous movements in infants at high risk[J]. JAMA Netw Open, 2022, 5(7): e2221325.

[17] Hesse N, Pujades S, Black MJ, et al. Learning and tracking the 3D body shape of freely moving infants from RGB-D sequences[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 2020, 42(10): 2540-2551.

[18] Hadders-Algra M. Early diagnostics and early intervention in neurodevelopmental disorders-age-dependent challenges and opportunities[J]. J Clin Med, 2021, 10(4): 861.

[19] Rizzi R, Menici V, Cioni ML, et al. Concurrent and predictive validity of the infant motor profile in infants at risk of neurodevelopmental disorders[J]. BMC Pediatr, 2021, 21(1): 68.

[20] Danks M, Flynn EJ, Gray PH, et al. 'Low-normal' motor skills in infants at high risk for poor developmental outcomes: A prevalence and prognostic study[J]. Dev Med Child Neuro, 2022, 64(12): 1517-1523.

[21] Fauls JR, Thompson BL, Johnston LM. Validity of the Ages and Stages Questionnaire to identify young children with gross motor difficulties who require physiotherapy assessment[J]. Dev Med Child Neurol, 2020, 62(7): 837-844.

[22] Ustad T, Brandal M, Campbell SK, et al. Concurrent and predictive validity of the Alberta Infant Motor Scale and the Peabody Developmental Motor Scales-2 administered to infants born preterm in Norway[J]. BMC Pediatr, 2023, 23(1): 591.

[23] 卞珊珊，李海欣，王淮燕. Alberta 婴儿运动量表在高危儿随访中的应用研究[J]. 中国儿童保健杂志，2020，28(12)：1309-1312，1316.
Bian SS, Li HX, Wang HY. Study of the application of the Alberta Infant Motor Scale in the follow-up of high-risk infants[J]. Chin J Child Health Care, 2020, 28(12): 1309-1312, 1316. (in Chinese)

[24] Eliks M, Anna S, Barbara S, et al. The standardization of the Polish version of the Alberta Infant Motor Scale[J]. BMC Pediatr, 2023, 23(1): 236.

[25] Varsi K, Torsvik IK, Huber S, et al. Impaired gross motor development in infants with higher PFAS concentrations[J]. Environ Res, 2022, 204(Pt D): 112392.

[26] Ljungblad UW, Tangeraas T, Paulsen H, et al. Lower iron stores were associated with suboptimal gross motor scores in infants at 3-7 months[J]. Acta Paediatr, 2022, 111(10): 1941-1949.

[27] Mulkey SB, Arroyave-Wessel M, Peyton C, et al. Neurodevelopmental abnormalities in children with in utero zika virus exposure without congenital zika syndrome[J]. JAMA Pediatr, 2020, 174(3): 269-276.

收稿日期：2023-10-14 **修回日期**：2024-01-03 **本文编辑**：杨媛媛