

doi:10.3969/j.issn.1005-3697.2024.09.004

❖ 临床研究 ❖

婴儿运动表现测试联合全身运动评估及头颅磁共振成像对早产儿神经运动发育结局的预测价值

傅慧青^{1,2}, 黄为民¹, 陈志权², 吴燕玲³, 李安芳³, 陈凤英⁴, 杨杰¹

(1. 南方医科大学南方医院·南方医科大学第一临床医学院新生儿科, 广东 广州 510515; 佛山市妇幼保健院, 2. 新生儿科; 3. 儿童康复科; 4. 放射科, 广东 佛山 528000)

【摘要】目的: 探讨婴儿运动表现测试(TIMP)联合全身运动评估(GMs)及头颅磁共振成像(MRI)对早产儿神经运动发育结局的预测价值。**方法:** 选取125例早产高危儿作为研究对象。对所有纳入对象在纠正胎龄40周时进行TIMP测试,在纠正胎龄46~56周时进行GMs测试,并在期间进行头颅MRI检测。对所有研究对象随访1年,并记录神经运动发育不良结局发生情况。比较三种检测方式的结果及预测准确度,采用Kappa法进行一致性分析,并采用受试者工作特征曲线(ROC)分析各检测方式对早产儿神经运动发育结局的预测价值。**结果:** 共发生17例不良结局,其中4例脑瘫,13例神经运动发育迟缓,不良结局发生率为13.60%。TIMP测试结果、GMs测试、MRI检测结果均与神经发育结局相比一致性一般($0.4 \leq Kappa < 0.75, P < 0.05$)。GMs测试的阳性预测率高于TIMP及三者联合检测,MRI检测的阳性预测率高于TIMP及三者联合检测($P < 0.05$)。三者联合检测的阴性预测率高于GMs测试($P < 0.05$)。TIMP、GMs、MRI与三者联合检测之间的准确度相比无统计学差异($P > 0.05$)。经ROC曲线分析得知,TIMP测试的AUC为0.872,敏感度为0.882,特异度为0.861;GMs测试的AUC为0.755,敏感度为0.529,特异度为0.981;MRI的AUC为0.839,敏感度为0.706,特异度为0.972;三者联合检测的AUC为0.931,敏感度为1.000,特异度为0.861。**结论:** TIMP、GMs及头颅MRI检测在预测早产儿神经运动发育结局方面均具有较高的预测价值,三者联合应用可提高对早产儿并发神经运动不良结局的预测价值。

【关键词】 婴儿运动能力测试;全身运动评估;头颅磁共振成像;早期预测;神经运动发育

【中图分类号】 R722.6 **【文献标志码】** A

Analysis of the predictive value of infant motor performance tests combined with GMs and cranial MRI for neuromotor developmental outcomes in preterm infants

FU Hui-qing^{1,2}, HUANG Wei-min¹, CHEN Zhi-quan², WU Yan-ling³, LI An-fang³, CHEN Feng-ying⁴, YANG Jie¹

(1. Department of Neonatology, Nanfang Hospital, Southern Medical University, First Clinical Medical College of Southern Medical University, Guangzhou 510515; 2. Department of Neonatology; 3. Department of Pediatric Rehabilitation; 4. Department of Radiology, Foshan Women and Children Hospital, Foshan 528000, Guangdong, China)

【Abstract】 Objective: To investigate the predictive value analysis of the Test of Infant Motor Performance (TIMP) combined with whole body motor assessments (GMs) and cranial MRI for neuromotor developmental outcomes in preterm infants. **Methods:** 125 cases of preterm high-risk infants were selected for inclusion. TIMP test at corrected gestational age of 40 weeks and GMs test at corrected gestational age of 46~56 weeks were performed on all included subjects, and cranial MRI was performed during the period. All included subjects were followed up for 1 year and the occurrence of neuromotor dysplastic outcome was recorded. The results and prediction accuracies of the three testing modalities were compared, and the consistency analysis was performed using the Kappa method, and the predictive value of each testing modality for neuromotor outcome in preterm infants was analyzed using the subject's working curve (ROC). **Results:** A total of 17 adverse outcomes occurred, including 4 cases of cerebral palsy and 13 cases of neuromotor retardation, with an adverse outcome rate of 13.60%. TIMP test results, GMs test, and MRI test results were all in fair agreement compared with neurodevelopmental outcomes ($0.4 \leq Kappa < 0.75, P < 0.05$). The positive prediction rate of final results was higher for GMs than for TIMP and combined tests, and for MRI tests were higher than for TIMP and combined tests ($P < 0.05$). The negative prediction rate of the combined test was higher than the GMs ($P < 0.05$). There was no significant difference in accuracy between TIMP, GMs, and MRI com-

基金项目: 广东省自然科学基金面上项目(2022A1515010427)

作者简介: 傅慧青(1978-),女,副主任医师。E-mail:18680021602@163.com

通讯作者: 黄为民,博士,教授。E-mail:hwmnet@21cn.com

pared to the combined test ($P > 0.05$). After ROC curve analysis, the *AUC* of TIMP test was 0.872, sensitivity was 0.882 and specificity was 0.861, the *AUC* of GMs test was 0.755, sensitivity was 0.529, and specificity was 0.981, the *AUC* of MRI was 0.839, sensitivity was 0.706, and specificity was 0.972, and the *AUC* of combined test was 0.931, with a sensitivity of 1.000 and a specificity of 0.861. **Conclusion:** TIMP, GMs and cranial MRI testing all have high predictive value in predicting neuromotor outcomes in preterm infants, and the combination of all three improves the predictive value of concomitant adverse neuromotor adverse outcomes in preterm infants.

【Key words】 Test of infant motor performance; General motor assessment; Head magnetic resonance imaging; Early prediction; Neuromotor development

近年来,随着围生医学等技术发展,早产儿存活率得以显著提高,但胎龄较小或极低出生体重的早产儿,因中枢神经系统发育不成熟,较易发生脑损伤,可导致出现行为异常或癫痫等症状,并将诱导出现远期神经运动发育障碍,甚至发展为脑性瘫痪,严重影响患儿长期生活质量^[1-2]。因此,尽早预测患儿是否会发生不良神经发育结局,对早期干预治疗具有重要意义,但在 1 岁前患儿神经系统仍处于发育阶段,较难对神经发育结局进行确诊^[3]。现阶段有多种技术及方法可用于对患儿神经发育结局进行预测,如头颅 MRI 可对患儿脑部结构及功能进行评价,全身运动评估 (general movements, GMs) 可对多种严重神经发育结局进行预测^[4-5]。另外有研究^[6]表明,采用婴儿运动表现测试 (test of infant motor performance, TIMP) 可对患儿神经行为进行测定,利于对运动发育迟缓的患儿进行早期识别。该三种检测方式虽均被应用于临床,但尚未见联合应用判断早产儿神经发育结局的相关研究。故本研究拟探讨 TIMP 联合 GMs 及头颅 MRI 对早产儿神经运动发育结局的预测价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2021 年 5 月至 2023 年 1 月佛山市妇幼保健院收治的 125 例早产高危儿作为研究对象。纳入患儿中,男性 75 例,女性 50 例;出生时胎龄 (30.98 ± 2.02) 周;出生时体质量 (1 612.76 ± 530.90) g;单胎妊娠 113 例,多胎妊娠 12 例。本次研究经医院伦理委员会批准同意。神经发育结局评价标准:(1) 脑瘫;诊断标准参考《中国脑性瘫痪康复指南 (2022) 第一章:概论》^[7] 中相关标准;(2) 神经运动发育迟缓;采用 Gesell 发育量表对患儿发育商进行评价,若患儿发育商评分 ≤ 75 分,则诊断为发育迟缓,若患儿发育商评分 > 75 分,则诊断为正常^[8]。

纳入标准:(1) 患儿家属知情同意,并签署知情同意书;(2) 患儿出生孕周 < 37 周,并且至少存在一种高危因素,高危因素包含窒息、宫内感染、新生儿呼吸窘迫综合征、败血症、颅内出血或肺动脉高压等;(3) 患儿均定期随访至 1 周岁以上;(4) 患儿参

加随访并有明确 1 周岁时运动发育结局;(5) 患儿各项生命体征平稳。排除标准:(1) 伴有先天性畸形、先天性脑发育缺陷、先天性遗传代谢病或染色体异常者;(2) 有癫痫病史者;(3) 中途失访或不能配合研究各项检查者;(4) 伴有进展性神经系统肿瘤者。

1.2 方法

对所有纳入对象在纠正胎龄 40 周时进行 TIMP 测试,在纠正胎龄 46 ~ 56 周时进行 GMs 测试,并在期间进行头颅 MRI 检测。所有患者均随访 1 年。

TIMP 测试:由 1 名经过培训并取得相关评估方法资格证书的儿童神经康复科医师,在患儿矫正胎龄 40 周时进行 TIMP 测试,同时需将评估过程录像,并采用标准化工具包。测试时将患儿置于明亮、安静及温暖的环境中,同时尽量减少穿戴,避免因穿戴影响患儿活动。该项测试共 42 项内容,其中引出项目共 29 项,观察项目共 13 项,引出项目每项评分为 0 ~ 6 分,观察项目每项 0 ~ 1 分,总分为 142 分。若评分越高,则表示运动表现越好。根据评估结果,采用患儿所处百分位数进行分析,当所处百分位数 ≥ 25% 时,则诊断为发育良好;若所处百分位数 < 25% 时,则诊断为发育不良。

GMs 测试:在患儿矫正胎龄 46 ~ 56 周时进行 GMs 测试,采用标准化的录像设施,避免患儿在哭闹、焦躁不安情况下进行录像。录像时间设定为 10 ~ 20 min,录像完成后,由本院获得 GMs 评估资质证书的儿童神经康复科医师对患儿的运动功能进行评估。根据发育过程测试时间在不安运动阶段 (足月后 6 ~ 9 周龄至 5 ~ 6 月龄)。不安运动阶段评价可分为正常不安运动 (normal fidgety movement, NF)、异常性不安运动 (abnormal fidgety movement, AF) 及不安运动缺乏 (absence of fidgety movement, F-),其中若诊断为 AF 及 F-,则提示异常。

MRI 检测:在患儿矫正胎龄 56 周前,采用飞利浦 Ingenia 3.0 T 核磁共振仪行常规头颅 MRI 检查,采用轴位及矢状位 T1WI (TR6.6 ms, TE2 ms);轴位 T2WI (TR3 000 ms, TE280 ms)、T2FLAIR (TR4 800 ms, TE40 ms), DWI 序列 (b 值为 0 和 700 s/mm², TR 3 622 ms, TE22 ms, 矩阵 200 × 170, 激励次数 2 次, 层厚 2 mm)。SWI 序列 (TR31 ms, TE7.2 ms, FA

17°,层间距 2 mm,层厚 -1 mm,激励次数 1 次,矩阵 230 × 189)。患儿在检查前 30 min,均给予 5% 水合氯醛(0.5 mL/kg)灌肠,待其安静入睡后方进行检查。若发现存在脑白质损伤、颅内各级出血、脑室扩大或积水,则诊断为异常。

1.3 观察指标

(1)神经发育结局:记录患儿神经发育结局。(2)测试结果:记录并比较三种检测方式的检测结果,并进行一致性分析。(3)诊断价值:比较三种检测方式的诊断价值。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 21.0 进行数据处理与分析。计量数据资料以($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本 t 检验;计数资料以[$n(\%)$]表示,组间比较采用独立样本 χ^2 检验;采用 Kappa 法进行一致性分析,制作受试者工作曲线(ROC)分析各检测方式对早产儿神经运动发育结局的预测价值。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 纳入对象神经运动发育不良结局情况

研究对象中,共发生 17 例不良结局,其中 4 例脑瘫,13 例神经运动发育迟缓,不良结局发生率为 13.60%。

2.2 TIMP 测试结果与神经发育结局一致性分析

TIMP 测试结果与患儿神经发育结局相比,一致性一般($0.4 \leq Kappa < 0.75$),差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 1。

表 1 TIMP 测试结果与神经发育结局一致性分析[$n(\%)$]

神经发育结局	TIMP 测试		
	良好	不良	合计
良好	93(74.4)	15(12.0)	108(86.4)
不良	2(1.6)	15(12.0)	17(13.6)
合计	95(76.0)	30(24.0)	125(100.0)
Kappa 值	0.562		
P 值	<0.001		

2.3 GMs 测试结果与神经发育结局比较

GMs 测试不安运动阶段 AF 8 例,F- 3 例。GMs 测试与患儿神经发育结局相比,一致性一般($0.4 \leq Kappa < 0.75$),差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 2。

2.4 MRI 检测结果与神经发育结局一致性分析

MRI 检测结果与神经发育结局相比,一致性一般($0.4 \leq Kappa < 0.75$),差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 3。

表 2 GMs 测试结果与神经发育结局比较[$n(\%)$]

神经发育结局	GMs 测试		
	正常	异常	合计
良好	106(84.8)	2(1.6)	108(86.4)
不良	8(6.4)	9(7.2)	17(13.6)
合计	114(91.2)	11(8.8)	125(100.0)
Kappa 值	0.600		
P 值	<0.001		

表 3 MRI 测试结果与神经发育结局一致性分析[$n(\%)$]

神经发育结局	MRI 检测		
	正常	异常	合计
良好	105(84.0)	3(2.4)	108(86.4)
不良	5(4.0)	12(9.6)	17(13.6)
合计	110(88.0)	15(12.0)	125(100.0)
Kappa 值	0.713		
P 值	<0.001		

2.5 三者联合检测结果与神经发育结局一致性分析

三者联合检测结果与患儿神经发育结局相比,一致性一般($0.4 \leq Kappa < 0.75$),差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 4。

表 4 三者联合检测结果与神经发育结局一致性分析[$n(\%)$]

神经发育结局	联合		合计
	正常	异常	
良好	93(74.4)	15(12.0)	108(86.4)
不良	0(0.0)	17(13.6)	17(13.6)
合计	93(74.4)	32(25.6)	125(100.0)
Kappa 值	0.628		
P 值	<0.001		

2.6 各种检测方式诊断准确度比较

分析发现,GMs 测试的阳性预测值高于 TIMP 及联合检测($\chi^2 = 10.790, P = 0.001$),MRI 检测的阳性预测值高于 TIMP 及联合检测($\chi^2 = 8.727, P = 0.003$);经 Fisher 精确概率法检验发现,三者联合检测的阴性预测值高于 GMs 测试($P < 0.05$);其余检测方式之间的准确度相比,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。见表 5。

表 5 各种检测方式诊断准确度比较

检测方式	阳性预测值(%)	阴性预测值(%)	准确度(%)
TIMP 测试	86.11(93/108)	88.24(15/17)	86.40(108/125)
GMs 测试	98.15(106/108)*	52.94(9/17)	92.00(115/125)
MRI 检测	97.22(105/108)*	70.59(12/17)	93.60(117/125)
联合	86.11(93/108) [#]	100.00(17/17) [#]	88.00(110/125)

* $P < 0.05$,与 TIMP 测试比较;# $P < 0.05$,与 GMs 测试比较; $\Delta P < 0.05$,与 MRI 检测比较。

2.7 各种检测结果对神经发育结局的预测价值

经 ROC 曲线分析得知, TIMP 测试的曲线下面积 (AUC) = 0.872, 敏感度为 0.882, 特异度为 0.861; GMs 测试的 AUC = 0.755, 敏感度为 0.529, 特异度为 0.981; MRI 的 AUC = 0.839, 敏感度为 0.706, 特异度为 0.972; 三者联合检测的 AUC = 0.931, 敏感度为 1.000, 特异度为 0.861。见表 6。

表 6 各种检测结果对神经发育结局预测价值分析

检测结果	AUC 值	SE 值	P 值	95% CI	约登指数	敏感度	特异度
TIMP 测试	0.872	0.049	<0.001	0.775 ~ 0.968	0.743	0.882	0.861
GMs 测试	0.755	0.078	0.001	0.602 ~ 0.909	0.510	0.529	0.981
MRI 检测	0.839	0.068	<0.001	0.706 ~ 0.972	0.678	0.706	0.972
联合	0.931	0.022	<0.001	0.887 ~ 0.974	0.861	1.000	0.861

3 讨论

目前临床主要采用运动对早产儿是否发生脑损伤进行评估, 但脑损伤的早产儿在早期临床方面无明显的症状, 诊断较为困难, 当患儿确诊不良预后, 常已错过最佳治疗时期^[9-11]。因此, 选择安全且有效的检测方式及评估工具, 用以对早产儿神经发育结局进行早期识别及预测, 对实现结构化检测、尽早进行针对性干预措施及提供家庭支持具有重要意义。

GMs 测试是一种非侵入性及非干扰性评估技术, 具有操作简便快捷及经济投入较少等优点, 能够在早期敏感、准确地预测高危儿神经发育结局, 并且部分研究^[12-13]表明, 经 GMs 测试及结合临床病史, 在 5 月龄之前对运动障碍的早期检测的灵敏度高达 98%。部分早期脑损伤患儿进行 MRI 检测后诊断效果欠佳, 仅在高级皮质功能建立时方能逐步显现, 因此 MRI 检测准确性虽高, 但预测能力有限^[14-15]。TIMP 测试是对婴儿姿势及运动进行评估的一种方法, 适用对象包括胎龄 34 周的早产儿到纠正月龄 4 个月的婴儿, 其评估中相关操作与母婴自然互动中所需动作相似, 因此可反映日常活动需求; 另外, TIMP 测试具有早期预测能力, 可在早产儿出生后的几周内进行测试, 能够较早对神经发育结局进行预测; 同时, TIMP 可综合考虑婴儿各种运动表现, 包括姿势、动作控制、平衡及协调等方面, 能够全面评估婴儿运动发育水平, 为预测神经发育结局提供更全面的信息; 另一方面, TIMP 可检测运动功能缺陷, 而不考虑潜在病因, 并且在描述运动损伤的严重程度和分布、监测运动发育及确定治疗需求方面具有重要指导意义^[16-18]。

本次研究显示, TIMP 测试、GMs 测试及 MRI 检

测均与神经发育结局相比一致性一般, 并且各种检测方式之间准确度相比无明显差异。分析原因, 可能为 TIMP 测试主要关注婴儿运动表现, 能够全面评估婴儿的运动发育水平; GMs 测试则更注重婴儿一般运动表现及质量, 对早期发展异常的婴儿有较高敏感性; MRI 检测则可以提供大脑结构和功能的影像信息, 对脑部异常有较好的检测能力, 三种检测方式在评估早产儿神经发育结局时均具有各自的优势, 但各自检测范围不同, 故在评估早产儿神经发育结局时, 可综合应用多种测试方法, 以获取更全面、准确的信息。周梅等^[19]研究表明, TIMP 测试及 GMs 测试联合应用可更全面评估高危儿脑损伤风险。另一方面, 本研究发现, GMs 测试的阳性预测率高于 TIMP 及联合检测; MRI 检测的阳性预测率高于 TIMP 及联合检测; 三者联合检测的阴性预测率高于 GMs 测试。该结果提示, 不同检测方式侧重点不同, 因此不同检测方式结合对预测早产儿神经运动结局方面具有较强的互补性。罗文丽等^[20]研究同样证明, GMs 及头颅 MRI 检测可用于预测神经发育结局, 且两种检测方式具有互补性。此外, 经 ROC 曲线分析得知, TIMP、GMs 及 MRI 均对预测早产儿是否并发神经运动不良结局具有较高的准确度、敏感度及特异度, 并且各检测方式联合预测效果更优。因此临床上, 可考虑将三种检测联合用于预测早产儿是否并发神经运动不良结局, 以期提高早产儿生活质量。

综上, TIMP、GMs 及头颅 MRI 检测在预测早产儿神经运动发育结局方面均具有较高的预测价值, 三者联合应用可提高对早产儿并发神经运动不良结局的预测价值。

参考文献

- [1] 鲁志力, 杨超, 李志鑫, 等. 枸橼酸咖啡因治疗早产儿呼吸窘迫综合征的临床疗效及对神经发育的影响[J]. 中南医学科学杂志, 2020, 48(1): 42-44.
- [2] Huang P, Qin X, Fan C, et al. Comparison of biological characteristics of human umbilical cord wharton's jelly-derived mesenchymal stem cells from extremely preterm and term infants[J]. Tissue Engineering and Regenerative Medicine, 2023, 20(5): 725-737.
- [3] Liu Y, Li ZF, Zhong YH, et al. Early combined rehabilitation intervention to improve the short-term prognosis of premature infants[J]. BMC Pediatrics, 2021, 21(1): 269.
- [4] 陈明秋, 童燕梅, 李小霞, 等. 早产儿扭动运动阶段全身运动质量评估与头颅 MRI 检查对早产儿神经发育结局的预测价值比较[J]. 妇儿健康导刊, 2023, 2(19): 50-52, 58.
- [5] Fenn-Moltu S, FitzGibbon SP, Ciarrusta J, et al. Development of neonatal brain functional centrality and alterations associated with preterm birth[J]. Cerebral Cortex, 2023, 33(9): 5585-5596.
- [6] Ptak A, Debiec-Bańk A, Stefańska M. Assessment of viscoelastic parameters of muscles in children aged 4-9 months with minor

- qualitative impairment of the motor pattern after vojta therapy implementation[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(16): 10448.
- [7] 中国康复医学会儿童康复专业委员会, 中国残疾人康复协会小儿脑性瘫痪康复专业委员会, 中国医师协会康复医师分会儿童康复专业委员会, 等. 中国脑性瘫痪康复指南(2022)第一章: 概论[J]. *中华实用儿科临床杂志*, 2022, 37(12): 887-892.
- [8] 黄会芝, 温晓红, 孙亚伟, 等. 振幅整合脑电图结合头颅 MRI 对窒息早产儿脑损伤的诊断及神经行为发育的预测[J]. *中华行为医学与脑科学杂志*, 2021, 30(1): 22-26.
- [9] 赖本聪, 陈旭铭, 罗琼, 等. S100- β 蛋白和髓鞘碱性蛋白对早产儿脑损伤的早期诊断价值[J]. *川北医学院学报*, 2024, 39(2): 218-221.
- [10] Rasmussen MI, Hansen ML, Pellicer A, *et al.* Cerebral oximetry monitoring versus usual care for extremely preterm infants: a study protocol for the 2-year follow-up of the SafeBoosC-III randomised clinical trial[J]. *Trials*, 2023, 24(1): 653.
- [11] 陈敏, 李艳萍, 谭凯儒, 等. 脑电图联合 MRI 对极低出生体重儿神经发育结局的预测价值[J]. *甘肃医药*, 2023, 42(4): 338-340.
- [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]. *Systematic Reviews*, 2021, 10(1): 226.
- [13] Barbosa VM, Einspieler C, Smith E, *et al.* Clinical implications of the general movement optimality score: beyond the classes of rasch analysis[J]. *Journal of Clinical Medicine*, 2021, 10(5): 1069.
- [14] DeMauro SB, Bann C, Flibotte J, *et al.* Cranial ultrasound and minor motor abnormalities at 2 years in extremely low gestational age infants[J]. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*, 2020, 41(4): 308-315.
- [15] 王娜, 李晓莺. 早产儿神经发育评估的进展[J]. *中国儿童保健杂志*, 2023, 31(4): 404-407, 432.
- [16] 韩佳乐, 曹建国, 王景刚, 等. 婴儿运动表现测试和 Alberta 婴儿运动量表在 0~4 月龄高危儿中的应用[J]. *中国妇幼保健*, 2023, 38(9): 1635-1638.
- [17] Madayi A, Shi L, Zhu Y, *et al.* The Test of Infant Motor Performance (TIMP) in very low birth weight infants and outcome at two years of age[J]. *Journal of Perinatology: Official Journal of the California Perinatal Association*, 2021, 41(10): 2432-2441.
- [18] 申亚丽, 屈福祥, 王成举, 等. 基于婴儿运动表现测试的脑瘫患儿早期运动表现特点分析[J]. *陆军军医大学学报*, 2024, 46(6): 515-521.
- [19] 周梅, 何莎莎, 张先红, 等. 全身运动质量评估与婴儿运动表现测试评分在高危儿应用中的一致性分析[J]. *重庆医学*, 2023, 52(1): 11-14.
- [20] 罗文丽, 赵畅. GMs 质量评估联合颅脑 MRI 对高危新生儿运动发育结局的预测价值[J]. *湖北医药学院学报*, 2022, 41(5): 480-484.
- (收稿日期: 2024-03-26 修回日期: 2024-04-26)

(上接第 1170 页)

- [5] 张露双, 赵刘碧琦. 细菌性阴道病病因学的研究新进展[J]. *中文科技期刊数据库(全文版)医药卫生*, 2023, 9(2): 169-174.
- [6] 孙芝兰. 卷曲乳杆菌益生特性及黏附机理研究[D]. 济南: 山东大学, 2012.
- [7] Munoz A, Hayward MR, Bloom SM, *et al.* Modeling the temporal dynamics of cervicovaginal microbiota identifies targets that may promote reproductive health[J]. *Microbiome*, 2021, 9(1): 163.
- [8] 何进, 徐思杨, 刘波, 等. 乳酸菌在农业和食品加工中的应用研究进展[J]. *微生物学杂志*, 2022, 42(4): 1-11.
- [9] Cunningham M, Azcarate-Peril MA, Barnard A, *et al.* Shaping the future of probiotics and prebiotics[J]. *Trends in Microbiology*, 2021, 29(8): 667-685.
- [10] Brito IL, Alm EJ. Tracking strains in the microbiome: insights from metagenomics and models[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2016, 7: 712.
- [11] Berghuis BA, Yu FB, Schulz F, *et al.* Hydrogenotrophic methanogenesis in archaeal Phylum Verstraetearchaeota reveals the shared ancestry of all methanogens[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2019, 116(11): 5037-5044.
- [12] Almeida A, Mitchell AL, Boland M, *et al.* A new genomic blueprint of the human gut microbiota[J]. *Nature*, 2019, 568(7753): 499-504.
- [13] Browne HP, Forster SC, Anonye BO, *et al.* Culturing of 'unculturable' human microbiota reveals novel taxa and extensive sporulation[J]. *Nature*, 2016, 533(7604): 543-546.
- [14] Rajab S, Tabandeh F, Shahraky MK, *et al.* The effect of lactobacillus cell size on its probiotic characteristics[J]. *Anaerobe*, 2020, 62: 102103.
- [15] Claus H, Akça E, Debaerdemaeker T, *et al.* Molecular organization of selected prokaryotic S-layer proteins[J]. *Canadian Journal of Microbiology*, 2005, 51(9): 731-743.
- [16] Voss BJ, Trent MS. Structure: peeling back the S-layer[J]. *Biochemistry*, 2020, 59(10): 1063-1064.
- [17] Wang W, Shao A, Feng S, *et al.* Physicochemical characterization and gastrointestinal adhesion of S-layer proteins-coating liposomes[J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 2017, 529(1-2): 227-237.
- [18] Konstantinov SR, Smidt H, De Vos WM, *et al.* S layer protein A of *Lactobacillus acidophilus* NCFM regulates immature dendritic cell and T cell functions[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(49): 19474-19479.
- [19] Prado AM, Geoghegan EM, Lepenies B, *et al.* Surface (S) layer proteins of *Lactobacillus acidophilus* block virus infection via DC-SIGN interaction[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2019, 10: 810.
- [20] Palomino MM, Allievi MC, Gordillo TB, *et al.* Surface layer proteins in species of the family Lactobacillaceae[J]. *Microbial Biotechnology*, 2023, 16(6): 1232-1249.
- (收稿日期: 2024-03-20 修回日期: 2024-04-28)