

康复期脑性瘫痪儿童跌倒风险预测模型的构建及验证

李佩佩 王瑞霞^(通讯作者) 谢艳杰 张利红 陈功勋

郑州大学第三附属医院 河南 郑州 450000

【摘要】目的：构建并验证康复期脑性瘫痪（脑瘫）儿童跌倒风险预测模型，为临床跌倒防控提供量化依据。方法：选取 2022 年 1 月~2024 年 1 月某三甲医院康复科 416 例脑瘫患儿，按 7:3 随机分为建模组 292 例、验证组 124 例。采用一般资料表、主观全面营养评估量表（SGNA）、日常生活活动能力量表（ADL）、粗大运动功能分级系统（GMFCS）、Berg 平衡量表（BBS）进行评估，通过二元 Logistic 回归构建跌倒预测模型，以 ROC 曲线、Hosmer-Lemeshow 检验、Bootstrap 法及外部验证评价模型效能。结果：年龄、ADL 评分、Berg 评分、SGNA 评分、混合/不随意型脑瘫、GMFCS 分级、共患病为跌倒独立影响因素；建模组 AUC=0.930，验证组 AUC=0.928，两组校准检验 P 均>0.05，模型区分度与校准度良好。结论：该预测模型效能稳定，可用于康复期脑瘫儿童跌倒风险的早期筛查与分层护理。

【关键词】：脑瘫儿童；跌倒；影响因素；Logistic 回归；预测模型

DOI:10.12417/2705-098X.26.19.086

脑性瘫痪（cerebral palsy, CP），简称脑瘫，是一系列姿势和运动障碍的非进行性综合征，0~6 岁患病率约为 0.23%^[1]，是儿童期身体残疾的常见原因，主要特征为运动障碍、行为障碍及姿势异常，部分患儿合并有癫痫、继发性肌肉骨骼问题等^[2]。跌倒指突发、不自主的、非故意的体位改变，倒在地上或更低的平面上，而预防跌倒是医院护理质量的重要评价指标。研究表明^[3]，35% 的 CP 儿童未发生跌倒，35% 的 CP 儿童每天都会发生跌倒，30% 的 CP 儿童每月或者每周至少发生一次跌倒，约 55% 的跌倒是发生在步行过程中，美国医疗机构评审联合委员会（Joint Commission International, JCI）已经将减少住院患儿跌倒损害作为主要安全目标之一，而 CP 儿童因其运动障碍及姿势异常导致跌倒事件的发生率更高，跌倒不仅造成患儿身体受伤，还会让患儿对行走产生恐惧心理而减少身体活动，最终造成功能丧失，严重影响其生活质量^[4]。

目前我国关于住院期间 CP 儿童跌倒的患病率和风险因素的研究有限，本研究旨在调查康复期 CP 儿童患者跌倒发生率及影响因素，并初步构建 CP 儿童的跌倒风险预测模型，以期对 CP 儿童跌倒的护理提供参考数据和临床指导。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选取 2022 年 1 月~2024 年 1 月某三甲医院康复医学科住院的 416 例脑瘫患儿。

纳入标准：①符合小儿脑瘫临床诊断标准；②年龄 4~12 岁，可配合完成量表评估；③具备辅助或独立步行能力。

排除标准：①合并严重心肝肾器质性疾病；②合并精神障碍、染色体或遗传代谢性疾病。

按照 Logistic 回归的粗略估算方法^[5]，结合既往脑瘫跌倒发生率，考虑 10% 流失率后确定建模组 292 例，按 7:3 比例纳入验证组 124 例。本研究经医院伦理委员会审批通过（临研论号：2023-263-01），所有患儿监护人均知情同意。

1.2 研究工具

（1）一般资料调查表：自行编制，包含患儿年龄、性别、疾病分型、共患病、照护者文化水平、辅助器具使用情况等。

（2）主观全面营养评估（SGNA）^[6]：包含营养病史与体格检查 2 个维度，总分 0~6 分，评分越高提示营养不良风险越高。

（3）日常生活活动能力量表（ADL）^[7]：采用 Barthel 指数，含步行、转移、进食等 10 个条目，总分 0~100 分，评分越低自理能力越差。

（4）粗大运动功能分级系统（GMFCS）：分为 I~V 级，级别越高运动功能障碍越重，国内脑瘫人群中信效度良好。

（5）Berg 平衡量表（BBS）：含 14 个功能条目，总分 0~56 分，评分越低平衡功能越差、跌倒风险越高。该量表 Cronbach's α 值为 0.864，信度、效度良好。

作者简介：

第一作者：李佩佩，女（1996—），汉族，河南省驻马店市人，硕士，郑州大学第三附属医院，护士，研究方向：儿童康复。

通讯作者：王瑞霞，女（1970—），汉族，河南省郑州市人，本科，郑州大学第三附属医院，护士长，研究方向：儿童康复。

基金项目：国家卫生健康委党校 2025 年度专项研究（儿科和药学方向）

项目具体名称：国家级专项研究（儿科和药学方向）课题基金项目

项目编号：GWJJZX20251003041

1.3 资料收集和质量控制方法

从郑州市某三甲医院护理管理信息平台系统中调取 2022 年 1 月至 2024 年 1 月 CP 儿童住院记录,收集纳入研究对象的一般资料,对于反复入院的患儿只收集第一次入院资料。

1.4 统计学方法

使用 Excel 对数据进行双人录入,采用 Python 3.12 进行统计分析,多因素分析采用二元 Logistic 回归纳入所有单因素显著变量。基于多因素回归结果绘制列线图,并选择与建模组不同时间段的 124 例患儿进行外部验证^[8]。

2 结果

2.1 脑瘫儿童的一般资料

本研究对两组的一般资料进行了均衡性检验,结果详见表 1。

表 1 建模组与验证组基线特征比较

变量	建模组 (n=292)	验证组 (n=124)	统计量	P 值
年龄/岁	7.80 (6.00,9.10)	7.80 (6.00,9.10)	Z=0.209	0.835
ADL 评分	62.00 (53.00,73.00)	63.00 (55.00,73.00)	Z=-0.358	0.721
Berg 平衡评分	33.00 (24.75,41.00)	34.00 (26.00,43.00)	Z=-1.268	0.205
SGNA 营养评分	2.00 (2.00,3.00)	2.00 (2.00,3.00)	Z=0.318	0.742
病程/年	4.20 (3.10,5.62)	4.15 (3.00,5.53)	Z=0.316	0.752
性别[n(%)]			X ² =3.112	0.078
男	157(53.8)	79(63.7)		
女	135(46.2)	45(36.3)		
疾病诊断[n(%)]			X ² =2.355	0.502
偏瘫型	125(42.8)	45(36.3)		
双瘫型	103(35.3)	53(42.7)		
混合型	49(16.8)	19(15.3)		
不随意型	15(5.1)	7(5.6)		
主要照护者文化水平[n(%)]			X ² =0.141	0.932
小学及以下	142(48.6)	60(48.4)		

初中/高中	104(35.6)	46(37.1)		
大专及以上	46(15.8)	18(14.5)		
使用辅助器具 [n(%)]			X ² =0.000	1.000
未使用	223(76.4)	94(75.8)		
使用	69(23.6)	30(24.2)		
GMFCS 分级[n(%)]			X ² =0.860	0.930
I 级	69(23.6)	33(26.6)		
II级	70(24.0)	30(24.2)		
III级	81(27.7)	35(28.2)		
IV级	62(21.2)	22(17.7)		
V 级	10(3.4)	4(3.2)		
共患病[n(%)]			X ² =0.926	0.336
无	120(41.1)	58(46.8)		
有	172(58.9)	66(53.2)		

注:连续变量采用 Welch t 检验或 Mann-Whitney U 检验,分类变量采用 x² 检验。

2.2 脑瘫儿童的单因素方差分析

结果详见表 2。

表 2 康复期脑瘫患儿跌倒影响因素的单因素分析

变量	未跌倒组 (n=42)	跌倒组 (n=250)	统计量	P 值
年龄/岁	7.00 (5.00,8.00)	7.90 (6.10,9.28)	Z=-2.593	0.010
ADL 评分	77.50 (70.00,80.00)	60.00 (52.00,70.00)	Z=6.364	<0.001
Berg 平衡评分	41.00 (36.00,48.00)	32.00 (24.00,39.00)	Z=5.948	<0.001
SGNA 营养评分	2.00 (1.00,2.00)	2.00 (2.00,3.00)	Z=-4.790	<0.001
病程/年	4.23±1.79	4.42±1.85	t=-0.634	0.529
性别[n(%)]			X ² =1.864	0.172
男	18(42.9)	139(55.6)		
女	24(57.1)	111(44.4)		

疾病诊断[n(%)]			X ² =17.472	<0.001
偏瘫型	29(69.0)	96(38.4)		
双瘫型	12(28.6)	91(36.4)		
混合型	0(0.0)	49(19.6)		
不随意型	1(2.4)	14(5.6)		
主要照护者文化水平[n(%)]			X ² =8.594	0.014
小学及以下	13(31.0)	129(51.6)		
初中/高中	17(40.5)	87(34.8)		
大专及以上	12(28.6)	34(13.6)		
使用辅助器具[n(%)]			X ² =0.051	0.821
未使用	31(73.8)	192(76.8)		
使用	11(26.2)	58(23.2)		
GMFCS 分级[n(%)]			X ² =43.294	<0.001
I 级	25(59.5)	44(17.6)		
II级	12(28.6)	58(23.2)		
III级	1(2.4)	80(32.0)		
IV级	3(7.1)	59(23.6)		
V 级	1(2.4)	9(3.6)		
共患病[n(%)]			X ² =26.681	<0.001
无	33(78.6)	87(34.8)		
有	9(21.4)	163(65.2)		

注：年龄、Berg、ADL、SGNA、病程因部分组未通过 Shapiro-Wilk 正态性检验，采用 Mann-Whitney U 检验，统计量为 Z 值；分类变量采用 Pearson χ^2 检验，理论频数<5 的格子采用 Fisher 确切概率法。（续表 2）

2.3 脑瘫儿童的多因素方差分析

以康复期间是否发生跌倒为因变量，将在单因素中有统计学差异的 8 个变量纳入多因素 Logistic 回归模型，变量赋值见表 3，最终纳入 7 项变量进入预测模型，见表 4。

表 3 变量赋值情况

变量	赋值
跌倒	未发生跌倒=0，发生跌倒=1

SGNA	原值输入
ADL	原值输入
GMFCS	I 级=1, II级=2,III级=3,IV级=4,V 级=5
Berg	原值输入

表 4 康复期脑瘫患儿跌倒影响因素的多因素 Logistic 回归分析（Enter 法）

变量	β	SE	Wald χ^2	P 值	OR(95%CI)
年龄	0.236	0.120	3.847	0.050	1.266 (1.000-1.603)
ADL 评分	-0.071	0.021	11.990	<0.001	0.931 (0.894-0.969)
Berg 平衡评分	-0.088	0.024	13.266	<0.001	0.916 (0.873-0.960)
SGNA 营养评分	0.631	0.257	6.050	0.014	1.879 (1.137-3.107)
疾病诊断(双瘫型 vs 偏瘫型)	0.719	0.533	1.820	0.177	2.053 (0.722-5.839)
疾病诊断(混合/不随意 vs 偏瘫型)	2.696	1.130	5.694	0.017	14.822 (1.619-135.722)
照护者文化水平(初中/高中 vs 小学及以下)	-0.477	0.573	0.694	0.405	0.620 (0.202-1.907)
照护者文化水平(大专及以上 vs 小学及以下)	-0.791	0.671	1.393	0.238	0.453 (0.122-1.687)
GMFCS 分级	0.592	0.255	5.400	0.020	1.808 (1.097-2.978)
共患病	1.480	0.515	8.270	0.004	4.392 (1.602-12.043)

表 5 向后逐步法保留的最终多因素 Logistic 回归模型

变量	β	SE	Wald χ^2	P 值	OR(95%CI)
年龄	0.236	0.119	3.940	0.047	1.266(1.003-1.599)
ADL 评分	-0.069	0.020	12.153	<0.001	0.934(0.898-0.970)
Berg 平衡评分	-0.089	0.024	14.089	<0.001	0.915(0.873-0.958)

SGNA 营养评分	0.637	0.254	6.301	0.012	1.891(1.150-3.110)
疾病诊断(混合/不随意 vs 偏瘫型)	2.201	1.080	4.154	0.042	9.035(1.088-75.034)
GMFCS 分级	0.671	0.247	7.406	0.007	1.956(1.206-3.171)
共患病	1.413	0.499	8.035	0.005	4.110(1.547-10.919)

注：模型常数项 $\beta=4.328$ (SE=2.041, P=0.034)。(续表5)

根据表5中保留变量的偏回归系数 β ，构建康复期脑瘫患儿跌倒风险的Logistic回归预测方程。模型方程为：Logit(P)=ln[P/(1-P)]=4.328+0.236×年龄-0.069×ADL-0.089×Berg+0.637×SGNA+2.201×I(混合/不随意型)+0.671×GMFCS+1.413×共患病。

2.4 脑瘫儿童跌倒发生风险的列线图绘制及检验效能评价

2.4.1 脑瘫儿童跌倒发生风险的列线图的构建

将7个独立预测因子通过列线图进行整合，如下图1。

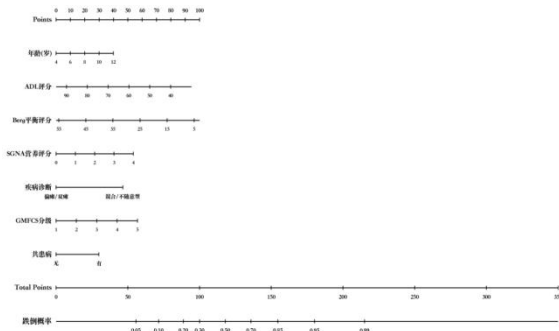


图1 康复期脑瘫患儿跌倒风险预测列线图

2.4.2 脑瘫儿童跌倒发生风险预测模型评价

(1) 列线图模型的区分度：采用受试者工作特征(ROC)曲线评价预测模型的区分能力，见图2。

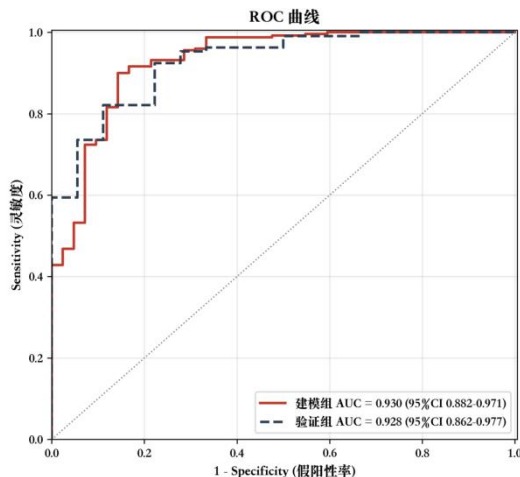


图2 建模组与验证组的ROC曲线

(2) 列线图模型的校准度：①应用 Hosmer-Lemeshow (H-L) 评价模型的拟合优度，建模组中 $\chi^2=1.46$ (df=3, P=0.691), 验证组中 $\chi^2=0.33$ (df=1, P=0.567), 两组 P 值均>0.05, 表明模型的预测概率与实际跌倒发生率之间不存在显著偏离。②校准曲线显示两组的 Lowess 平滑线均紧贴 45°理想曲线, 说明模型对低、中、高跌倒风险人群的预测概率均较为可靠, 见图3。

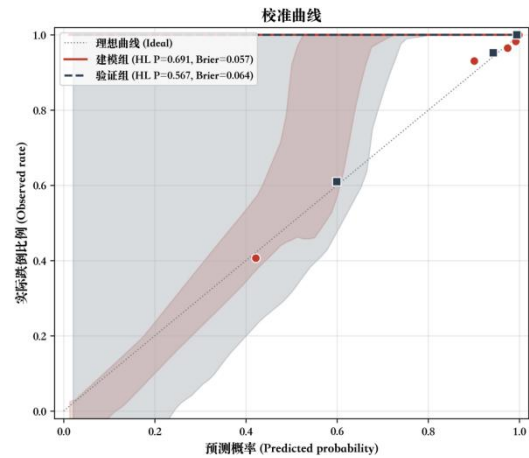


图3 建模组与验证组的校准曲线

3 讨论

3.1 康复期脑瘫儿童跌倒发生率较高

本研究共纳入416例CP儿童，建模组非跌倒与跌倒约为1:5.95，发生率约为85.6%，高于普通儿童跌倒发生率(57.45%)^[9]，亦远高于既往报道的住院患儿跌倒率(1.23%)^[10]。原因在于步行是一种复杂的运动行为，而复杂行为动作的产生、执行与协调均由中枢神经系统控制，CP儿童中枢神经系统受损，由于肌肉-肌腱结构的不平衡CP儿童会逐渐出现下肢运动障碍，导致出现运动紊乱、运动受限和姿势异常等步行障碍，进而发生步行缓慢甚至跌倒。

3.2 康复期脑瘫儿童发生跌倒受到多方面因素影响

3.2.1 年龄≤6岁脑瘫儿童易发生跌倒

本研究结果显示，不同年龄阶段发生跌倒的差异具有统计学差异(P<0.05)，且年龄≤6岁CP儿童易发生跌倒，与Alem-daroğlu E等^[11]的研究结果一致。分析其可能原因，CP儿童由于中枢神经系统受损，躯干及骨盆的控制能力下降，存在肌肉协调、感官信息处理等方面功能障碍，导致站立平衡或行走等粗大运动技能水平降低。而不同年龄阶段患儿的运动功能和认知水平不同，与年幼儿童相比，年长的孩子更可能对周围环境保持警觉，因此在走路或跑步时更加谨慎。

3.2.2 所有脑瘫类型中痉挛型脑瘫儿童易发生跌倒

本研究结果显示，不同的疾病诊断发生跌倒的风险不同。不随意运动型脑瘫和痉挛性四肢瘫患儿因数据较少，且均不具

备辅助行走能力或独立行走能力,故未纳入分析。本研究结果发现痉挛性脑瘫发生跌倒的风险高于混合型,而痉挛型双瘫较痉挛型偏瘫步行障碍程度更严重,与既往研究结果一致^[12]。原因可能在于痉挛型脑瘫发病总数较混合型脑瘫高且不同疾病诊断的患儿行走时的平衡能力表现出异质性,在相同的移动速度下,痉挛型 CP 儿童恢复身体稳定性需要更长的时间,因此发生跌倒风险的概率较大。

3.2.3 中高度营养风险的脑瘫儿童易发生跌倒

本研究发现,中高度营养风险的 CP 儿童跌倒发生率明显高于低度营养风险的 CP 儿童,原因在于运动功能障碍可导致能量消耗增加、营养摄入不足等后果,进而引起营养不良,而营养不良会影响骨密度水平和肌肉关节活动质量,尤其是行走等负重类活动,这与 Mus-Peters 等^[13]的研究结果相似,因此,临床医护人员应做好 CP 儿童的营养评估,及时发现有潜在营养风险的患儿,及时进行营养干预,制定合理的饮食计划,指导家属每日记录饮食日记,对存在吞咽困难患儿进行一对一喂养指导,定期随访。

3.2.4 GMFCS 分级和日常生活能力对预防脑瘫儿童发生跌倒具有协同作用

本研究结果提示,GMFCS I 级和 II 级的 CP 儿童发生跌倒的风险高于其他分级,与 Tsitlakidis S 等^[14]的研究结果相似,原因可能是 GMFCS I 级和 II 级的 CP 儿童其异常步态指数偏差明显更大,而 GMFCS 分级与骨密度水平息息相关, Mus-Peters^[15]指出 GMFCS II 级和 III 级的 CP 儿童的股骨近端、全身、股骨远端和腰椎的骨密度较低,这可能是因为 GMFCS 分级影响患儿站立与行走活动能力,进而影响骨密度水平,此外本研究结果发现,ADL 评分是 CP 儿童发生跌倒的预测因素之一,原因可能在于,CP 儿童的日常生活活动能力与粗大运动能力密切相关且受年龄的影响^[16]。在本研究中,CP 儿童发生跌倒与其粗大运动能力和日常生活活动能力之间呈正相关关系。因此,医护人员应制定良好的康复训练计划,尤其是针对下肢肌肉力量的锻炼,从而改善 CP 儿童粗大运动功能及日常生活能力,降低跌倒发生风险。

3.2.5 Berg 评分小于 40 分的脑瘫儿童易发生跌倒

本研究结果提示,跌倒组脑瘫儿童的 Berg 评分明显低于

未跌倒组脑瘫儿童评分,与 El-Shamy^[17]的研究结果相似,原因可能是 Berg 评分低通常提示患儿在身体处于移动状态或受到外部干扰时,其身体快速适应并保持姿势能力的能力较差,这就使他们跌倒的几率大大增加。因此,医护人员应重点关注 Berg 评分较低的 CP 儿童,尽早采取提高平衡能力的训练计划,注重提高其核心肌群的稳定性,增强身体的可控性,从而减少跌倒的发生。

3.2.6 共患病使脑瘫儿童发生跌倒风险更高

本研究结果提示,除了脑瘫诊断外,患儿同时被诊断为其他疾病如癫痫或智力障碍时跌倒风险进一步升高,这可能与共患病进一步损害患儿的神经肌肉控制、认知判断及环境适应能力有关。以癫痫为例,发作时的意识丧失或肢体强直抽搐会使患儿瞬间失去平衡支撑;而合并智力障碍的患儿往往对危险信号的识别与回避能力不足,难以在行走中及时调整姿态。与 Wang L 等人的研究结果相似^[18]。因此,临床护理中需对伴有共患病的脑瘫儿童实施更严密的监护,在常规防跌倒措施基础上增加巡视频次,并与多学科团队协同制定个体化干预方案,以减少患儿跌倒发生率,减轻患儿痛苦,并减轻家庭的经济负担。

3.3 构建脑瘫儿童跌倒发生风险预测模型具有临床实用性

本研究基于 416 例康复期脑瘫患儿的临床资料,按建模组(n=292)与验证组(n=124)构建并外部验证了跌倒风险预测模型,保证了模型外推的内部一致性;基于该模型绘制的列线图直观、可操作,临床护理人员可借助列线图对个体化跌倒风险进行快速估计, Hosmer-Lemeshow 检验提示其具有良好的区分度与校准度,外部验证结果稳健,说明该列线图模型可用于康复期脑瘫患儿跌倒高危人群的早期识别,其次该列线图无须复杂运算即可在床旁完成个体化风险评估,便于临床护理人员和康复师进行快速分层与预防干预。

3.4 结论

本研究构建的康复期脑瘫儿童跌倒风险预测模型包含 7 项易获取的临床指标,预测效能良好,临床实用性较强,可用于跌倒高危患儿的早期筛查与分层干预。本研究为单中心回顾性研究,未纳入视力、认知、疼痛等潜在混杂因素,后续需开展多中心大样本前瞻性研究进一步优化验证模型。

参考文献:

- [1] 封玉霞,庞伟,李鑫,等.中国 0~6 岁儿童脑瘫患病率 Meta 分析[J].中国全科医学,2021,24(5):603-607.
- [2] Blair E,Langdon K,McIntyre S,et al.Survival and mortality in cerebral palsy:observations to the sixth decade from a data linkage study of a total population register and National Death Index[J].BMC Neurol,2019,19(1):111.
- [3] Walker RL,O'Brien TD,Barton GJ,et al.Are challenging walking environments linked to falls or risk of falling in children with cerebral palsy?A systematic review[J].Gait Posture,2025,117:306-316.
- [4] Bhasin S,Gill TM,Reuben DB,et al.A Randomized Trial of a Multifactorial Strategy to Prevent Serious Fall Injuries[J].N Engl J

Med,2020,383(2):129-140.

- [5] Rao SJ,Sunil J.Regression modeling strategies:with applications to linear models,logistic regression,and survival analysis[J].J Am Stat Assoc,2011,98(461):257-258.
- [6] 施磊,童光磊,李红,等.脑性瘫痪儿童喂养/吞咽困难和营养不良筛查工具的临床应用[J].中国儿童保健杂志,2022,30(9):1024-1028.
- [7] Rosa-Rizzotto M,Visonà Dalla Pozza L,Corlatti A,et al.A new scale for the assessment of performance and capacity of hand function in children with hemiplegic cerebral palsy:reliability and validity studies[J].Eur J Phys Rehabil Med,2014,50(5):543-556.
- [8] 王俊峰,章仲恒,周支瑞,等.临床预测模型:模型的验证[J].中国循证心血管医学杂志,2019,11(2):141-144.
- [9] 刘琼,刘源,谢羨,等.2015—2022年湖南省0~14岁儿童跌倒伤害流行病学特征[J].实用预防医学,2026,33(1):55-59.
- [10] 商明霞,韩明月,何海燕,等.护理敏感质量指标在预防住院患儿跌倒坠床持续改进中的应用[J].护理管理杂志,2021,21(10):702-706.
- [11] Özal C,Aksoy S,Kerem Günel M.Postural Control Alterations in Children with Mild Forms of Spastic Cerebral Palsy[J].Pediatr Health Med Ther,2022,13:367-376.
- [12] 李敏莉,袁锋.脑瘫患儿粗大运动功能与其主要照顾者知信行的相关性研究[J].护理实践与研究,2016,13(24):9-11.
- [13] 陈婧.脑瘫儿童粗大运动和进食功能等级与其营养状况的相关性研究[D].合肥:安徽医科大学,2023.
- [14] Tsitlakidis S,Schwarze M,Westhauser F,et al.Gait Indices for Characterization of Patients with Unilateral Cerebral Palsy[J].J Clin Med,2020,9(12):3888.
- [15] Mus-Peters CTR,Huisstede BMA,Noten S,et al.Low bone mineral density in ambulatory persons with cerebral palsy?A systematic review[J].Disabil Rehabil,2019,41(20):2392-2402.
- [16] Smits DW,Gorter JW,Ketelaar M,et al.Relationship between gross motor capacity and daily-life mobility in children with cerebral palsy[J].Dev Med Child Neurol,2010,52(3):e60-66.
- [17] Liu W,Hu Y,Li J,et al.Effect of Virtual Reality on Balance Function in Children With Cerebral Palsy:A Systematic Review and Meta-analysis[J].Front Public Health,2022,10:865474.
- [18] Wang L,Qian ML,Shan X,et al.Risk factors for falls among children aged 0-18 years:a systematic review[J].World J Pediatr,2022,18(10):647-653.