

·临床研究·

智能书写分析与识别平台用于6~12岁 儿童书写能力评估的研究报告

韩平^{1*}, 杨文艺¹, 谢溢洋¹, 谢秋蓉¹, 王佳伟¹, 杨彩虹¹, 詹诗琪¹, 严朝珊², 张玉³

1 福建中医药大学康复医学院, 福建 福州 350122;

2 同济大学附属养志康复医院, 上海 201619;

3 上海磐度科技有限公司, 上海 200072

* 通信作者: 韩平, E-mail: 348450158@qq.com

收稿日期: 2023-07-30; 接受日期: 2023-09-27

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(82305357); 福建省科技厅对外合作项目(2022I0021); 福建省本科高校教育

教学研究项目(FBJG20220062); 福建省教育科学“十四五”规划课题(FJJKBK21-033)

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2024.03009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



摘要 目的 通过人工智能分析书写能力评估数据, 准确评估小学生的书写质量和能力, 为精准筛查和评估书写困难者提供数据支撑。**方法** 采用横断面研究, 使用SHARP书写智能分析平台对福建省福州市闽江师范高等专科学校附属实验小学一到六年级(总计1 085名)学生进行书写能力评估。评估指标包括书写速度、书写控制、书写统合、纸上时间比率、书写成果准确性和书写总体表现。**结果** 女生在书写控制、书写统合、纸上时间比率、书写成果准确性和书写总体表现上优于男生($P < 0.05$)。右利手在书写统合、纸上时间比率和书写总体表现3项指标上优于左利手($P < 0.05$)。小学生书写能力发展趋势: ①在书写速度上, 一到六年级总体呈逐步加快的趋势, 随着年级的增长, 一到四年级相邻年级之间书写速度逐步加快($P < 0.05$), 五到六年级之间书写速度逐步加快($P < 0.05$), 但四到五年级之间书写速度的增长差异无统计学意义($P > 0.05$); ②在书写控制能力上, 一到六年级总体呈逐步发展的趋势, 三年级书写控制能力表现优于二年级($P < 0.05$), 五年级书写控制能力表现优于四年级($P < 0.05$), 其余相邻年级之间差异无统计学意义($P > 0.05$); ③在书写统合能力和纸上时间比率方面, 随着年级的增长, 一到四年级相邻年级之间高年级学生的发展优于低年级($P < 0.05$), 四到五、五到六年级之间差异无统计学意义($P > 0.05$); ④在书写成果准确性上, 二年级优于一年级($P < 0.05$), 四年级优于三年级($P < 0.05$), 其余相邻年级之间差异无统计学意义($P > 0.05$); ⑤在书写总体表现上, 二年级表现优于一年级($P < 0.05$), 其余相邻年级之间差异均无统计学意义($P > 0.05$)。书写控制、书写统合和书写成果准确性与书写总体表现之间呈显著负相关($r > -0.5$), 纸上时间比率与书写总体表现之间呈高度正相关($r = 0.575$), 纸上时间比率与书写统合之间呈高度负相关($r = -0.999$)。书写成果准确性仅能解释书写总体表现的39.1%变化原因, 书写成果准确性、纸上时间比率、书写控制和书写统合能力共同解释书写总体表现的71.8%变化原因。**结论** 在小学阶段, 女生的书写能力普遍优于男生, 但性别和优势手仍无法预测书写的总体表现。书写能力各测量指标随着年级的增高表现趋于成熟, 书写速度大约在四到五年级时进入一个短暂的平台期后继续发展; 书写控制能力在二到三年级、四到五年级时发展更为迅速, 书写统合能力和在纸上时间比率约在四年级后进入相对稳定的平台期。书写成果准确性不适合单独作为书写总体表现的预测因素; 书写控制、书写统合和纸上时间比率对书写总体表现具有较强的影响, 可以综合作为书写总体表现的预测因素。

关键词 智能书写分析; 书写能力; 书写困难; 评估; 儿童

引用格式: 韩平, 杨文艺, 谢溢洋, 等. 智能书写分析与识别平台用于6~12岁儿童书写能力评估的研究报告[J]. 康复学报, 2024, 34(3): 251-261.

HAN P, YANG W Y, XIE Y Y, et al. Research reports on assessment of handwriting ability in children aged 6-12 years by using smart handwriting analysis recognition platform [J]. Rehabil Med, 2024, 34(3): 251-261.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2024.03009

©《康复学报》编辑部, 开放获取CC BY-NC-ND 4.0协议

© Rehabilitation Medicine, OA under the CC BY-NC-ND 4.0

书写过程是由复杂的神经系统控制的,它由感觉、认知和神经肌肉功能等多方面神经控制机制组成,良好的视觉整合及注意力表现、手部肌肉耐力、姿势控制能力对提高书写总体表现具有重要作用^[1-2]。无论是在教室里还是在家里,小学生每天30%~60%的时间要用于精细运动,其中85%涉及书写任务^[3]。完成一项正确书写任务需要具备3个方面的能力:①手指灵活操作书写工具的能力;②掌握有利于提高手写效率和书写表现的姿势控制能力;③感觉-运动、视觉感知和认知技能的整合能力^[1,4-5]。书写技能不仅会影响儿童的学业成绩,还会增加其出现个人情绪行为问题的可能性,甚至会影响儿童成年后的社会适应能力^[6]。一般情况下,儿童书写障碍较难被发现,出现书写相关问题时大多数家长和教育工作者往往将其归因于儿童懒惰、调皮、马虎等。书写障碍对学生的书写能力、学业成绩和心理等多方面发展造成了诸多消极影响。然而,目前国内对书写障碍的相关研究还较为缺乏,仅有少量心理研究者对书写能力的发展过程进行研究,在港澳台地区亦有部分作业治疗领域的学者对中文繁体字的书写评估进行了相关研究。而关于书写能力评估及其干预的相关研究报道,目前在国内仍是空白,书写活动作为重要的作业活动,迫切需要引起康复工作者的关注。

调查数据显示,我国儿童书写困难发病率约在16%~25%^[7]。据报道,现多达27%的小学生存在书写问题。国外研究发现,明确存在书写障碍的儿童在小学的发生率约为9.7%^[8]。对儿童家长进行调查发现,在学习汉语的儿童中,存在严重和轻度书写困难的儿童比例分别为3.8%和8.6%,书写困难对于儿童学业成绩的影响随着年级的升高有逐渐增大的趋势^[2,9]。因此,我国儿童的书写障碍筛查与评估亟需引起社会关注。目前,在认知、心理、工程、人工智能和康复等领域,关于我国儿童汉字书写技能的发展评估,国内都少有报道。本研究从康复科学的角度借助于人工智能技术使用智能书写分析与识别平台(smart handwriting analysis recognition platform, SHARP),对福州市1 085名小学生进行了书写能力智能评估。现将结果报道如下。

1 临床资料

1.1 选择标准

1.1.1 纳入标准 ①正常发育、无神经或精神发育障碍的在校小学生,年龄为6~12岁;②在当地同

一所学校上常规课程,以汉语为母语,并将其作为书面交流的主要语言;③所有参与者均为动态三指握笔方式^[1];④所有参与者及其父母都对本研究内容知晓并签署知情同意书。

1.1.2 排除标准 ①患有神经运动或精神发育障碍,且具备相关医学诊断(如脑瘫、肌肉萎缩、孤独症、身体残疾、发育迟缓和智力残疾)者^[10];②正在接受除手写以外的发育障碍的物理或作业治疗者^[1]。

1.2 一般资料

于2021年11月选取福建省福州市闽江师范高等专科学校附属实验小学一至六年级的学生,一年级53名,二年级269名,三年级271名,四年级218名,五年级153名,六年级121名,共计1 085名学生,其中1 065名学生为右利手(574名男孩,491名女孩),20名学生为左利手(11名男孩,9名女孩)。研究方案提交福建中医药大学附属康复医院伦理委员会审批通过并备案(审批号:2021KS-096-01)。见表1。

表1 受试者一般资料

年级	性别		优势手		参评人数
	男/[例(%)]	女/[例(%)]	右	左	
一年级	29(2.67)	24(2.30)	53	0	53
二年级	152(14.01)	117(10.78)	264	5	269
三年级	133(12.26)	138(12.72)	266	5	271
四年级	106(9.77)	112(10.32)	212	6	218
五年级	100(9.23)	53(4.88)	151	2	153
六年级	65(5.99)	56(5.16)	119	2	121
总计	585(53.91)	500(46.08)	1 065	20	1 085

2 方法

2.1 研究方法

采用横断面研究,于2021年11月使用SHARP对福建省福州市闽江师范高等专科学校附属实验小学一至六年级学生的书写能力发展水平进行人工智能评估。

2.2 书写能力人工智能评估方法

2.2.1 书写能力人工智能评估系统 本研究选用SHARP作为评估工具,该系统平台的硬件为数字化智能书写本,型号PH-1410-SIG(工作区域:210×297 mm,EMR分辨率:0.01 mm,读取速度:200点/s,上海Pendo Tech),书写板上放置A4大小的表格纸,书写空间为空白网格。纸张放置需将垂直和水平

边平行于数字化智能书写本的水平垂直边^[10]。见图1。与该硬件设备配套使用标准尺寸的智能书写笔,是一种带有力敏笔尖(2048级)的无线电子墨水笔,用于收集数字化智能书写本上的运动数据。见图2。数据采集结束后,通过USB蓝牙将数据传输至云平台,并对数据进行统计分析。

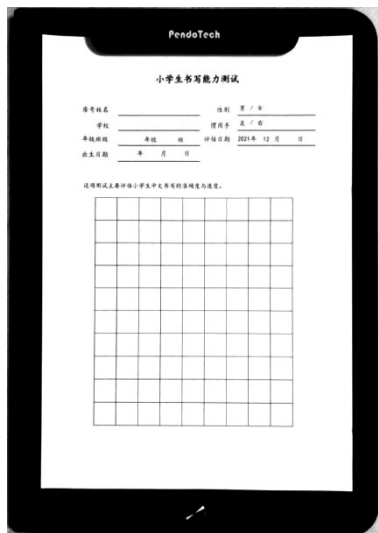


图1 智能书写本

Figure 1 Intelligent writing book



图2 智能书写笔

Figure 2 Intelligent writing pen

2.2.2 评估方法 施测程序:①施测人员应具备康复作业治疗专业学习背景,在实施评估前统一接受标准化评估培训。②在施测前需要向受试者统一介绍测试内容和书写要求,确保受试者理解该评估的程序。③受试者理解指令后,方可开始进行抄写

任务。受试者需要按照从左往右、从上到下的顺序进行抄写。④实施评估的环境要求:小学生需要坐在适合高度的桌椅前,保证书写环境安静舒适、亮度适宜、光线充足。智能书写本和笔提前放置在桌面上,书写本下缘与桌子边缘对齐。

2.2.3 抄写任务 本研究中使用90个汉字作为抄写任务,90个汉字由香港理工大学曾慧平教授研究筛选^[11],并经过重复研究证实适用于小学生使用。在抄写前,需要确保受试者已经学习过汉字书写的基本规则。

2.2.4 评估指标 分为书写速度、书写控制、书写统合、纸上时间比率、书写成果准确性和书写总体表现6个指标。本研究将数据量化后得到学生书写能力评估指标的偏离值,可直观了解每位学生的书写能力情况,并根据这些偏离值快速筛选出需要引起关注的学生。见图3。①书写速度:每分钟抄写汉字的数量,数值越大,表示书写速度越快。②书写控制:学生书写过程中对手部肌肉的力量控制能力,数值越大,则表示在书写过程中控制能力越差。见图4。③书写统合:学生书写过程中手眼协调和视动整合等能力,数值越大,则表示书写统合能力表现越弱^[12-13]。④纸上时间比率:书写时笔尖接触纸的时间与书写总时间之比^[14]。见图5。⑤书写成果准确性:表示学生完成书写测试的过程中,出现各种书写错误数量的总和,数值越大,则错误越多。⑥书写总体表现:表示学生书写的整体表现,数值越大,则表示学生书写表现越佳。

2.3 统计学方法

采用SPSS 25.0软件进行统计分析。计量资料服从正态分布时,采用 $(\bar{x}\pm s)$ 表示,采用独立样本 t 检验,非正态分布时采用Man-Whitney U 检验;计数资料以率作为描述统计;不同年级间比较采用单因素方差分析,非正态分布时采用Kruskal-Wallis检验;采用秩和相关分析确定测试数据之间的内部相关性;采用逐步回归分析检验各因素对未来书写能力发展的正/负面作用的预测性。以 $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

3 结果

3.1 不同性别书写能力指标的差异性比较

女生在书写控制、书写统合、纸上时间比率、书写成果准确性和书写总体表现上均优于男生($P<0.05$)。见表2。

偏离值

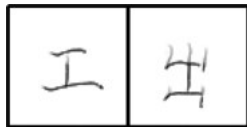


注:绿色表示表现良好,橙色表示需适当关注,红色表示需高度关注。

Note: Green indicates good performance, orange indicates proper attention, and red indicates high attention.

图3 某学生书写能力SHARP评估结果图

Figure 3 Results of SHARP assessment of a student's writing ability



注:颜色越深代表力量越大。

Note: The darker the color, the greater the power.

图4 书写过程中力量变化

Figure 4 Power changes during the writing process



图5 书写过程中笔在非实际落纸时间的空中轨迹

Figure 5 Writing process in air trajectory of pen at the non-actual paper drop time

表2 不同性别书写能力指标比较[M(IQR)]

Table 2 Comparison of writing ability between different genders [M(IQR)]

组别	例数	书写速度/(字数/min)	书写控制	书写统合	纸上时间比率	书写成果准确性	书写总体表现
男	585	9.15(5.25)	454.35(91.09)	1.39(0.60)	0.42(0.11)	21.00(14.00)	0.10(2.84)
女	500	8.70(5.43)	432.12(116.00)	1.29(0.54)	0.44(0.10)	19.00(14.00)	0.68(2.84)
Z值		-1.174	-5.348	-2.966	3.04	-3.555	5.219
P值		0.241	0.000	0.003	0.002	0.000	0.002

3.2 右利手和左利手儿童书写能力差异性比较

表现3项指标上优于左利手($P < 0.05$)。见表3。

右利手在书写统合、纸上时间比率和书写总体

表3 右利手和左利手儿童书写能力差异性比较[M(IQR)]

Table 3 Comparison of right-handed and left-handed children [M(IQR)]

组别	例数	书写速度/(字数/min)	书写控制	书写统合	纸上时间比率	书写成果准确性	书写总体表现
右利手	1 065	8.95(5.33)	445.49(102.11)	1.33(0.58)	0.43(0.10)	20.00(14.00)	0.29(2.09)
左利手	20	9.53(3.45)	420.05(153.68)	1.62(0.80)	0.39(0.11)	25.00(23.00)	-0.70(2.51)
Z值		-0.242	-1.165	2.344	-2.390	1.535	2.092
P值		0.809	0.244	0.019	0.017	0.125	0.037

3.3 不同年级书写能力指标的差异性比较

3.3.1 不同年级书写能力各指标之间差异比较 一到六年级学生书写能力各指标之间均有统计学意义($P < 0.05$)。见表4。同时,从指标箱型图可以发现:①随着年级的增高,学生的书写速度明显在不断加快。见图6。②高年级学生书写控制和书写统合能力整体上优于低年级学生。见图7、图8。

③一到四年级学生纸上时间比率逐渐增加,四到六年级则保持相对稳定的状态。见图9。④一年级学生书写成果准确性数值明显高于其他年级,其书写总体表现数值明显低于其他年级,在这2个指标中,二到六年级学生表现均呈现出相对稳定的趋势。见图10、图11。

表4 不同年级书写能力指标差异性比较[M(IQR)]

Table 4 Comparison of writing index in different grades [M(IQR)]

年级	书写速度/(字数/min)	书写控制	书写统合	纸上时间比率	书写成果准确性	书写总体表现
一年级	2.82(1.25)	505.87(83.75)	1.85(1.25)	0.35(0.13)	38.00(22.00)	-1.69(3.08)
二年级	5.87(2.52)	471.08(78.53)	1.54(0.67)	0.39(0.10)	23.00(13.00)	0.26(2.75)
三年级	8.84(2.86)	442.15(101.75)	1.32(0.50)	0.43(0.09)	22.00(14.00)	0.62(2.69)
四年级	10.45(3.97)	442.31(101.15)	1.18(0.45)	0.46(0.09)	17.00(13.00)	0.47(2.71)
五年级	11.40(3.58)	411.79(104.07)	1.28(0.43)	0.44(0.08)	19.00(11.00)	0.09(2.51)
六年级	13.86(4.40)	395.01(99.73)	1.27(0.49)	0.44(0.09)	15.00(11.00)	0.52(3.40)
Z值	643.148	182.249	120.832	121.762	148.849	51.095
P值	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

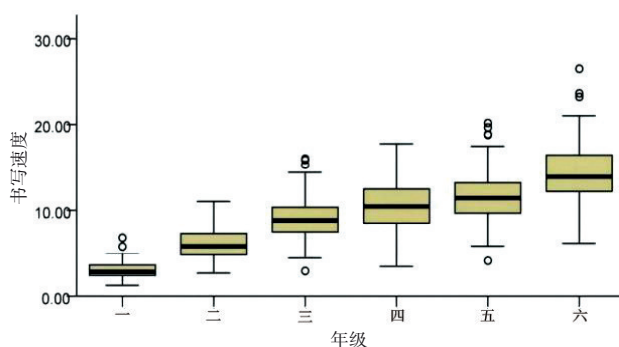


图6 不同年级书写速度差异性比较

Figure 6 Comparison of differences in writing speed in different grades

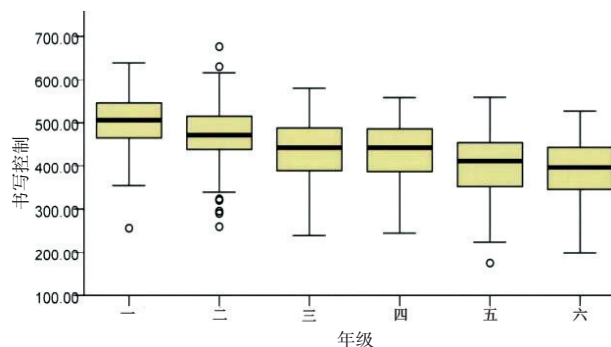


图7 不同年级书写控制差异性比较

Figure 7 Comparison of writing control differences in different grades

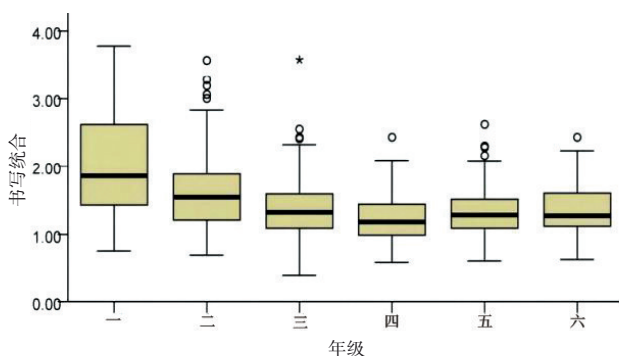


图8 不同年级书写统合差异性比较

Figure 8 Comparison of differences in writing integration in different grades

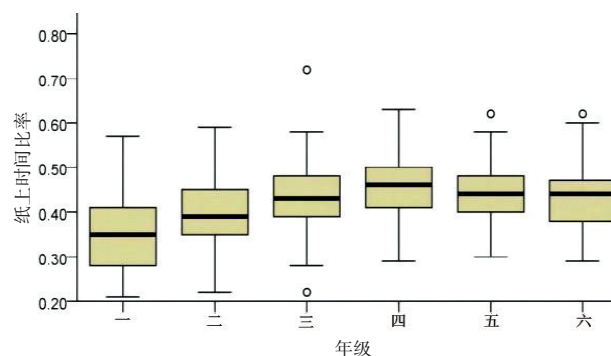


图9 不同年级纸上时间比率差异性比较

Figure 9 Comparison of different time ratios on paper in different grades

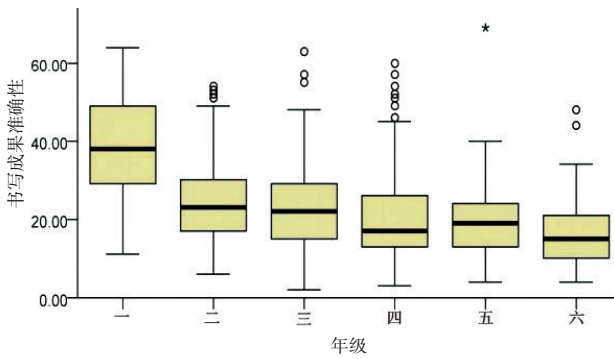


图10 不同年级书写成果准确性差异性比较

Figure 10 Comparison of differential accuracy of writing results in different grades

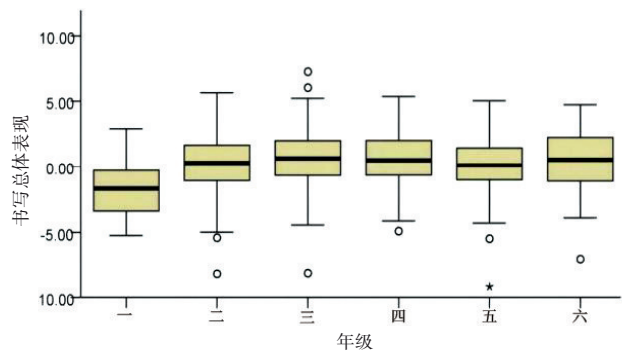


图11 不同年级书写总体表现差异性比较

Figure 11 Comparison of overall performance difference of writing in different grades

3.3.2 相邻年级不同指标之间差异性比较 ① 在书写速度上,二年级快于一、三年级快于二年级,四年级快于三年级,六年级快于五年级 ($P < 0.05$),只有四到五年级之间差异无统计学意义 ($P > 0.05$);② 在书写控制上,三年级优于二年级,五优于四年级 ($P < 0.05$),其余相邻年级之间差异无统计学意义 ($P > 0.05$);③ 在书写统合和纸上时间比率上,一到四年级相邻年级之间,高年级学生的发展

优于低年级 ($P < 0.05$),其余相邻年级之间差异无统计学意义 ($P > 0.05$);④ 在书写成果准确性上,二年级优于一年级 ($P < 0.05$),四年级优于三年级 ($P < 0.05$),其余相邻年级之间差异无统计学意义 ($P > 0.05$);⑤ 在书写总体表现上,二年级优于一年级 ($P < 0.05$),其余相邻年级之间差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表5。

表5 相邻年级不同指标之间差异性比较

Table 5 Comparison of difference between different indicators in adjacent grades

成对年级	书写速度/(字数/min)	书写控制	书写统合	纸上时间比率	书写成果准确性	书写总体表现
一与二	<0.05	0.063	0.036	0.032	<0.05	<0.05
二与三	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.866	1.000
三与四	<0.05	1.000	0.010	<0.05	<0.05	1.000
四与五	0.231	0.002	0.130	0.124	1.000	1.000
五与六	<0.05	1.000	1.000	1.000	0.148	1.000

3.4 书写能力评估指标内部相关性的比较

书写速度、书写控制、书写统合、纸上时间比率、书写成果准确性和书写总体表现之间内部均存在相关性 ($P < 0.05$)。其中书写控制、书写统合和书

写成果准确性与书写总体表现之间呈负相关 ($r > -0.5$),纸上时间比率与书写总体表现之间呈正相关 ($r = 0.575$),纸上时间比率与书写统合之间呈高度负相关 ($r = -0.999$)。见表6。

表6 各评估指标之间的相关性

Table 6 Correlations between the various evaluated indicators

	书写速度/(字数/min)	书写控制	书写统合	纸上时间比率	书写成果准确性	书写总体表现
书写速度	—	-0.280 ¹⁾	-0.202 ¹⁾	0.202 ¹⁾	-0.337 ¹⁾	0.353 ¹⁾
书写控制	0.000	—	0.225 ¹⁾	-0.227 ¹⁾	0.271 ¹⁾	-0.549 ¹⁾²⁾
书写统合	0.000	0.000	—	-0.999 ¹⁾²⁾	0.237 ¹⁾	-0.574 ¹⁾²⁾
纸上时间比率	0.000	0.000	0.000	—	-0.239 ¹⁾	0.575 ¹⁾²⁾
书写成果准确性	0.000	0.000	0.000	0.000	—	-0.609 ¹⁾²⁾
书写总体表现	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	—

注:1) 置信度(双侧)小于0.05时,表明两者有相关性;2) $r > \pm 0.500$ 。

Note: 1) The correlation is significant with confidence (bilateral) less than 0.05; 2) $r > \pm 0.500$.

3.5 小学生未来书写能力的预测因素分析

该分析以性别、优势手、书写速度、书写控制、书写统合、纸上时间比率以及书写成果准确性为自变量,书写总体表现为因变量进行多元线性逐步回归分析。见表7、表8。本次逐步回归得到4个回归方程,自变量中性别和优势手被剔除在方程之外。第1个方程仅有书写成果准确性1个变量入选,第2个方程有书写成果准确性和纸上时间比率两个变量入选,第3个方程有书写成果准确性、纸上时间比率和书写控制3个变量入选,第4个方程有书写成果准确性、纸上时间比率、书写控制和书写统合4个变量入选。同时数据显示,建立的方程确实均存在,回归系数有统计学意义(F 值分别为696.079, 811.335, 907.998, 691.542, P 值均 <0.05)。结果表明:①书写成果准确性单独解释书写总体表现变化的39.1%,解释度较低;②书写成果准确性、纸上时间比率、书写控制和书写统合能共同解释书写总体表现变化的71.8%,表明书写成果准确性、纸上时间比率、书写控制和书写统合对书写总体表现均具有较强的影响;③书写成果准确性、书写控制和书写统合是书写总体表现的负预测因子,纸上时间比率

呈现出明显的正预测作用。

3.6 福州地区小学生书写能力发展指标参考值见表9。

表7 小学生未来书写能力预测因素结果比较

Table 7 Comparison of results of the future writing ability of primary school students

模型	预测因子	B	P 值
1	(常量)	2.893	0.000
	书写成果准确性	-0.119	0.000
2	(常量)	-3.274	0.000
	书写成果准确性	-0.099	0.000
	纸上时间比率	13.415	0.000
3	(常量)	1.591	0.000
	书写成果准确性	-0.084	0.000
	纸上时间比率	11.477	0.000
	书写控制	-0.010	0.000
4	(常量)	5.538	0.000
	书写成果准确性	-0.082	0.000
	纸上时间比率	5.445	0.002
	书写控制	-0.010	0.000
	书写统合	-0.990	0.000

表8 小学生未来书写能力的逐步回归分析

Table 8 Progressive regression analysis of pupils' future writing ability

模型(标准化系数)	R^2	F 值	P 值
书写总体表现=2.893-0.119×书写成果准确性	0.391 ¹⁾	696.079 ²⁾	<0.001
书写总体表现=-3.274-0.099×书写成果准确性+13.415×纸上时间比率	0.599 ¹⁾	811.335 ²⁾	<0.001
书写总体表现=1.591-0.084×书写成果准确性+11.477×纸上时间比率-0.01×书写控制	0.715 ¹⁾	907.998 ²⁾	<0.001
书写总体表现=5.538-0.082×书写成果准确性+5.445×纸上时间比率-0.01×书写控制-0.990×书写统合	0.718 ¹⁾	691.542 ²⁾	<0.001

注:1)模型的解释力度;2)用于判断模型是否有意义,若对应 P 值 <0.05 说明模型有意义。

Note: 1) Interpretation strength of the model; 2) to judge whether the model is meaningful. If the corresponding $P < 0.05$, the model is meaningful.

表9 福州地区小学生书写能力发展指标参考值($\bar{x} \pm s/P_{25}, P_{75}$)

Table 9 Reference values of writing ability development indicators of primary school students in Fuzhou area ($\bar{x} \pm s/P_{25}, P_{75}$)

年级	例数	书写速度/(字数/min)	书写控制	书写统合	纸上时间比率	书写成果准确性	书写总体表现
一	53	(1.57, 4.07) ¹⁾	(422.12, 589.62) ¹⁾	(0.6, 3.1) ¹⁾	0.35±0.13 ¹⁾	38.79±14.28 ²⁾	-1.72±1.91 ²⁾
二	269	(3.35, 8.39) ¹⁾	472.13±63.24 ²⁾	(0.87, 2.21) ¹⁾	0.39±0.10 ¹⁾	(10.00, 36.00) ¹⁾	0.19±2.01 ²⁾
三	271	(5.98, 11.7) ¹⁾	(340.45, 543.85) ¹⁾	(0.82, 1.82) ¹⁾	0.43±0.07 ²⁾	(8.00, 36.00) ¹⁾	0.52±2.09 ²⁾
四	218	10.56±2.70 ²⁾	(341.21, 543.41) ¹⁾	(0.73, 1.63) ¹⁾	0.46±0.06 ²⁾	(4.00, 30.00) ¹⁾	0.49±1.96 ²⁾
五	153	11.63±2.99 ²⁾	(307.72, 515.86) ¹⁾	(0.85, 1.71) ¹⁾	0.44±0.06 ²⁾	(8.00, 30.00) ¹⁾	(2.42, 2.60) ¹⁾
六	121	(9.46, 18.26) ¹⁾	391.02±65.14 ²⁾	(0.78, 1.76) ¹⁾	0.43±0.07 ²⁾	(4.00, 26.00) ¹⁾	(2.88, 3.92) ¹⁾

注:1)数据不满足正态分布用(P_{25}, P_{75});2)数据满足正态分布用($\bar{x} \pm s$)。

Note: 1) Data do not satisfy normal distribution with (P_{25}, P_{75}); 2) Data satisfy normal distribution with ($\bar{x} \pm s$).

4 讨论

书写是一个复杂的精细运动过程,较差的精细运动控制可能会导致笔迹费力甚至难以辨认,书写困难的儿童常常会出现写错别字、书写空间不当、偏旁部首的位置颠倒、缺少笔画、无法控制用笔力度、书写大小比率不当及写字速度太慢等问题,导致书写总体水平日渐下降,书写质量降低。与英文字母不同的是,汉字本质上主要是象形文字,由正方形构形内的部首组成。部首是由笔画组成的,笔画与部首、部首与汉字空间关系的准确性是汉字书写的本质^[15]。而相比拼音文字,汉字笔画模式的构形特征、书写时涉及的复杂几何形状以及在正方形区域内的笔画排列等因素,都使汉字书写更具有难度。汉字笔画的形式和位置的细微差别对学生的视觉辨别要求更高^[14],书写汉字时要求字迹清晰、偏旁部首比例适当,这对学生的空间组织能力也提出了较高要求。

到目前为止,笔试和观察量表是学校或临床环境中最常用的笔迹评估方法。传统的临床观察很难对细微的笔迹运动进行评估或分析,这些评价都是通过眼球检查进行的,主观性强,难以量化^[10]。在康复医学领域,借助人工智能技术,通过信息技术、数据挖掘等多方面相结合,并进行深度学习,能够有效对康复过程进行智能化、数字化的实时监控。本研究选用SHARP作为评估工具,该平台通过人工智能技术的应用,采用无源无线电磁压感笔技术,实现手写输入电子输出,可全面精准地采集儿童在书写速度、书写控制、书写统合、书写结果准确性、书写纸上时间比率以及书写总体表现的书写过程及全方位书写结果数据,并通过数据运算结果来展现儿童的书写能力。行之有效的康复数据,大大提高了结果的准确性和科学性,弥补了传统评估方法的不足,也显著提高了临床治疗的效率^[10]。

本研究结果显示,不同性别的学生书写表现存在一定的差异,女生在书写控制、书写统合、纸上时间比率、书写成果准确性和书写总体表现上优于男生,尤其是书写控制和书写成果准确性,女生在书写过程中似乎更不易疲劳,对肌肉的控制能力更强,书写的错误总数更少,这可能与女生在手部肌肉耐力和操作控制方面的发育优于男生有关^[16-17]。这也提示在生活或学习中,可以注重男生在手部操作方面的活动参与,以提高男生早期的书写能力。

对于优势手在书写表现之间的差异,虽然本研

究结果显示右利手学生在书写统合、纸上时间比率和书写总体表现方面优于左利手学生,但不能排除本研究中的左利手样本量($n=20$)大大低于右利手样本量($n=1\ 065$)造成的误差。由于不同地区的文化差异,中国仍然存在很多地区保留着右利手的传统。有研究表明,虽然左利手儿童存在一定程度的感觉统合障碍,但左利手儿童与右利手儿童在总的智商方面没有差异,只存在各自优势领域的不同。脑神经科学研究发现,对左利手者来说,使用左手是由于控制右手的运动控制中心转移到了右脑,即使把利手改变过来,也不会影响可获得的运动技能和灵巧性^[18]。因此,不必强行矫正儿童的左利手,避免产生负面影响,如出现口吃、脑功能紊乱等^[19-20]。

不同年级学生书写能力各指标之间的差异结果显示,一到六年级学生在书写速度、书写控制、书写统合、纸上时间比率、书写成果准确性、书写总体表现均存在显著的相关性。在标准化的过程中,书写统合可间接反映出书写过程所涉及的视觉整合及注意力表现。本研究结果表明,书写统合能力随着年龄的增长而趋于成熟,同时我们还发现,样本量仅有一年级、二年级和三年级之间差异有统计学意义,而在三年级和四年级之间差异无统计学意义,表明这一测量的变化可能在三年级左右达到平台期。书写总体表现是书写过程中的书写速度、书写统合、书写控制等多种因素相互影响的结果,我们发现,仅有一年级和二年级之间存在差异,二年级和三年级之间没有差异,这也提示一年级学生对于汉字的熟悉程度较低,导致研究中的抄写任务对于他们来说存在一定程度的困难,因此该评估任务可能不完全适用于一年级学生书写能力的筛查和评估^[10],这也提醒了我们在未来的研究中需要对学生抄写的90个汉字进行一定的修改^[18],形成更适用于学习简体汉字低年级学生的书写筛查和评估系统。

书写能力评估指标内部相关性分析发现,书写控制、书写统合、纸上时间比率、书写成果准确性与书写总体表现存在相关性。多元线性逐步回归分析评估指标对书写总体表现的预测作用,发现书写成果准确性、纸上时间比率、书写控制和书写统合对书写总体表现均具有较强的影响,而自变量中性别和优势手被剔除在方程之外,这表明了不同的性别和优势手对书写总体表现不会产生影响。这两者同时也都说明了在孩子学习书写的过程中,可以通过加强书写过程中对手部肌肉的力量控制能力、

手眼协调和视动整合等能力来提高孩子的书写能力,减少书写过程中产生的错误^[21-22]。

本研究中统计出不同年级书写能力评估指标的参考值,可以为本区域小学生书写能力发展程度提供对比,用于筛选出低于均值一个标准差的学生,提醒家长或教育者加以关注,或寻求进一步康复评估和干预。

5 小 结

研究中书写控制的方法仅通过量化纸尖的压力值来体现。有研究表明,书写运动任务中的躯体近端和远端运动模式在有书写问题和没有书写问题的儿童之间存在差异。未来的研究中可以考虑使用一种磁性运动捕捉系统,利用传感系统测量不同上肢关节的运动,包括躯干、肩部和肘部的近端,以及手腕、拇指和手指远端的运动模式和3D位置、方向和关节角度^[3],进一步探索运动模式和书写压力值对书写质量的影响。另外,评估使用的钢笔润滑度较低,导致书写的流畅度降低,低年级的学生容易增加书写的厌倦感和疲劳度,使得测试数据准确性降低。针对这一局限性,考虑使用一种配备小学铅笔的系统,以取代目前使用的圆珠笔^[9]。

许多研究分析了精细运动技能与书写表现的主要预测因素之间的关系,同时有调查视觉感知与手写结果之间关联的研究表明,视觉运动整合是书写表现的重要组成部分,儿童书写表现受视觉知觉、眼-手协调和视觉-运动整合的影响^[23]。由于本研究中选用的评估工具SHARP着重于书写过程统合能力和书写质量的评估,目前得到的可量化指标中缺乏儿童视觉功能和精细运动功能方面的数据,在视知觉、精细动作功能评估方面存在一定的局限性。因此,在今后的研究中我们还将充分考虑不同年龄儿童视觉功能和精细运动功能的差异对书写表现的影响,寻找更加全面的方法进一步分析儿童书写表现能力。

本次研究的样本量主要集中在同一所小学,样本代表性受限。同时,本研究中一年级学生书写数据时间为第1学期末,很多儿童无法完成评估,导致一年级样本量较少。在未来的研究中将调整数据采集的时间,广泛随机采集多地区学生书写能力的样本,进行大规模研究。

本研究借助SHARP提供了真实笔迹评估和书写质量的定量评估报告,通过对福州地区1 085名小学生6项评估指标数据的统计分析,得到以下

结论:①在小学阶段,女生的书写能力普遍优于男生,但性别和优势手仍无法预测书写的总体表现。②书写能力各测量指标随着年级的增高表现趋于成熟,书写速度大约在四到五年级时进入一个短暂的平台期后继续发展;书写控制能力在二到三年级和四到五年级时发展更为迅速,书写统合能力和在纸上时间比率约在四年级后进入相对稳定的平台期。③书写成果准确性不适合单独作为书写总体表现的预测因素;书写控制、书写统合和纸上时间比率对书写总体表现具有较强的影响,可以综合作为书写总体表现的预测因素。人工智能技术支持下的SHARP评估数据分析更加客观、准确,可以高效地筛查和评估儿童的书写能力,对于教育工作者、临床医生和研究人员来说,该评估系统可以更好地洞察错误笔迹背后的运动、知觉和认知成分,可以为筛查评估和治疗书写困难的儿童提供更加科学的依据。

致谢:

本研究特别感谢曾慧平教授提供技术咨询,感谢朱勇敏先生提供设备支持!

参考文献

- [1] HOCHHAUSER M, WAGNER M, SHVALB N. Assessment of children's writing features: a pilot method study of pen-grip kinetics and writing surface pressure [J]. *Assist Technol*, 2023, 35(1): 107-115.
- [2] 毛荣建, 顾新荣. 汉语发展性书写障碍研究的现状探析[J]. *北京联合大学学报(自然科学版)*, 2014, 28(3): 89-92.
MAO R J, GU X R. The review of Chinese developmental dysgraphia children [J]. *J Beijing Union Univ Nat Sci*, 2014, 28(3): 89-92.
- [3] STEINHART S, WEISS P L, FRIEDMAN J. Proximal and distal movement patterns during a graphomotor task in typically developing children and children with handwriting problems [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 18(1): 178.
- [4] BURGRAAF R, VAN DER GEEST J N, HOOGE I T C, et al. Developmental changes in visual search are determined by changing visuospatial abilities and task repetition: a longitudinal study in adolescents [J]. *Appl Neuropsychol Child*, 2021, 10(2): 133-143.
- [5] GIBERT C, ROGER F, ICART E, et al. A new immersive rehabilitation therapy (MoveR) improves more than classical visual training visual perceptual skills in dyslexic children [J]. *Biomedicine*, 2022, 11(1): 21.
- [6] HONG Q, JIANG B, XU Q, et al. Reliability and validity of Handwriting Test for Preschool Children (HT-PRE): a new tool to assess the handwriting ability of preschool children aged 5-6 years old in Mainland China [J]. *PLoS One*, 2020, 15(3): e0229786.
- [7] 刘晓丹, 姜志梅. 儿童发育障碍作业治疗技术[M]. 北京: 人民

- 卫生出版社,2019:68.
- LIU X D, JIANG Z M. Operational treatment techniques for child developmental disorders [M]. Beijing: People's Health Publishing House, 2019:68.
- [8] GUBBAY S S, DE KLERK N H. A study and review of developmental dysgraphia in relation to acquired dysgraphia [J]. *Brain Dev*, 1995, 17(1):1-8.
- [9] 孟祥芝,周晓林,吴佳音. 发展性协调障碍与书写困难个案研究[J]. *心理学报*, 2003, 35(5):604-609.
- MENG X Z, ZHOU X L, WU J Y. Developmental coordination disorder and dysgraphia: a case study [J]. *Acta Psychol Sin*, 2003, 35(5):604-609.
- [10] CHANG S H, YU N Y. Computerized handwriting evaluation and statistical reports for children in the age of primary school [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1):15675.
- [11] TSANG L, CECILIA L, TIM M H, et al. Evaluating Chinese handwriting performance of primary school students using the smart handwriting analysis and recognition platform (SHARP) [J]. *medRxiv*, 2022:8.
- [12] GARGOT T, ASSELBORN T, ZAMMOURI I, et al. "It Is Not the Robot Who Learns, It Is Me." treating severe dysgraphia using child-robot interaction [J]. *Front Psychiatry*, 2021, 12:596055.
- [13] 何金彩. 视空间注意障碍对汉字认知的影响[J]. *中华神经科杂志*, 2000, 33(3):18-20.
- HE J C. Effect of visual spatial disorder on processing Chinese character recognition [J]. *Chin J Neurol*, 2000, 33(3):18-20.
- [14] CHOW S M K, CHOY S W, MUI S K. Assessing handwriting speed of children biliterate in English and Chinese [J]. *Percept Mot Skills*, 2003, 96(2):685-694.
- [15] TSE L F, THANAPALAN K C, CHAN C C. Visual-perceptual-kinesthetic inputs on influencing writing performances in children with handwriting difficulties [J]. *Res Dev Disabil*, 2014, 35(2):340-347.
- [16] KIM Y S, AL OTAIBA S, WANZEK J, et al. Towards an understanding of dimensions, predictors, and gender gap in written composition [J]. *J Educ Psychol*, 2015, 107(1):79-95.
- [17] BONDI D, ROBAZZA C, LANGE-KÜTTNER C, et al. Fine motor skills and motor control networking in developmental age [J]. *Am J Hum Biol*, 2022, 34(8):23758.
- [18] TSE L, SIU A, LI-TSANG C. Development of Chinese handwriting skills among kindergarten children: copying of the composition in Chinese characters and name writing [J]. *J Occup Ther Sch Early Interv*, 2017, 10(1):1-12.
- [19] 八田武志,郭可教. 利手、左利手和脑[J]. *世界科学*, 1989(1):35-38,23.
- BA T, GUO K J. Handedness, left handedness and brain [J]. *World Sci*, 1989(1):35-38,23.
- [20] 潘筱. 左利手与右利手儿童智力分布与心理特点的对比性研究[D]. 济南:山东大学,2006:24.
- PAN X. An contrast study on intelligent distribution of left handedness and right handedness children and their personality [D]. Jinan: Shandong University, 2006:24.
- [21] VALARMATHI A, SURESH K, VENKATESH L, et al. Visual-perceptual function of children using the developmental test of visual perception-3 [J]. *Clin Exp Optom*, 2022, 105(1):32-36.
- [22] DREW T, BOETTCHER S E P, WOLFE J M. One visual search, many memory searches: an eye-tracking investigation of hybrid search [J]. *J Vis*, 2017, 17(11):5.
- [23] TAVERNA L, TREMOLADA M, TOSETTO B, et al. Impact of psycho-educational activities on visual-motor integration, fine motor skills and Name writing among first graders: a kinematic pilot study [J]. *Children*, 2020, 7(4):27.

Research Reports on Assessment of Handwriting Ability in Children Aged 6-12 Years by Using Smart Handwriting Analysis Recognition Platform

HAN Ping^{1*}, YANG Wenyi¹, XIE Yiyang¹, XIE Qiurong¹, WANG Jiawei¹, YANG Caihong¹, ZHAN Shiqi¹, YAN Zhaoshan², ZHANG Yu³

¹ Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou, Fujian 350122, China ;

² Yangzhi Rehabilitation Hospital, Tongji University, Shanghai 201619, China;

³ Shanghai Pando Technology Co, Shanghai 200072, China

*Correspondence: HAN Ping, E-mail: 348450158@qq.com

ABSTRACT Objective By computerized analysis of writing ability assessment data, to accurately assess the quality and proficiency of writing among primary school students, and to provide data support for accurate screening and assessment of those with writing difficulties. **Methods** A cross-sectional study was conducted to evaluate the writing ability of 1 085 students from grade 1 to grade 6 in the Experimental Primary School Affiliated to Minjiang Teachers College, Fuzhou, Fujian Province, using the smart handwriting analysis recognition platform (SHARP). The assessment indicators included writing speed, writing control, writing integration, time-on-paper ratio, accuracy of writing outcomes, and overall writing performance. **Results** Girls outperformed boys in writing control, writing integration, time-on-paper ratio, accuracy of writing outcomes, and overall writing performance ($P<0.05$). Right-handers were superior to left-handers in three indicators: writing integration, time-on-paper ratio, and overall writing performance ($P<0.05$). The development trend of primary school students' writing abilities: 1) In terms of writing speed, there was an overall trend of gradual acceleration in grades 1 to 6. As the grades increased, the writing speed gradually accelerated between adjacent grades of grades 1 to 4 ($P<0.05$), and between grades 5 and 6 ($P<0.05$), but the increase in writing speed between grades 4 and 5 showed no significant difference ($P>0.05$). 2) In terms of writing control ability, the overall trend of grades 1 to 6 showed a gradual development, with the performance of writing control ability in grade 3 being better than that in grade 2 ($P<0.05$), and the perfor-

mance of writing control ability in grade 5 being better than that in grade 4 ($P<0.05$), and there was no statistical significance between the other adjacent grades ($P>0.05$). 3) In terms of the writing integration ability and time-on-paper ratio, as the grades increased, the higher grades developed better than the lower grades between adjacent grades 1 to 4 ($P<0.05$), and the difference between grades 4 to 5 and 5 to 6 was not statistically significant ($P>0.05$). 4) in terms of the accuracy of writing outcomes, grade 2 was better than grade 1 ($P<0.05$), and grade 4 was better than grade 3 ($P<0.05$), and there was no statistically significant difference between the other adjacent grades ($P>0.05$); 5) In terms of overall writing performance, grade 2 performed better than grade 1 ($P<0.05$), and the differences between other adjacent grades were not statistically significant ($P>0.05$). There was a significant negative correlation between writing control, writing integration and writing outcome accuracy and overall writing performance ($r=-0.5$), a highly positive correlation between time-on-paper ratio and overall writing performance ($r=0.575$), and a highly negative correlation between time-on-paper ratio and writing integration ($r=-0.999$). Writing outcome accuracy explained only 39.1% of the variation in overall writing performance, and writing outcome accuracy, time-on-paper ratio, writing control, and writing integration together explained 71.8% of the variation in overall writing performance. **Conclusion** At the primary level, girls generally outperform boys in writing ability, but sex and dominant hand still do not predict overall performance in writing. As the grades increase, students' writing abilities tend to mature. Writing speed reaches a plateau around grades 4-5, writing control develops more rapidly in grades 2-3 and 4-5, and writing integration and time-on-paper ratio enters a relative stable plateau after about grade 4. Accuracy of writing outcomes alone is not suitable as a predictor of overall writing performance; writing control, writing integration, and time-on-paper ratio have strong effects on overall writing performance and can be combined as predictors of overall writing performance.

KEY WORDS intelligent handwriting analysis; handwriting ability; writing difficulties; assessment; children

DOI:10.3724/SP.J.1329.2024.03009

(上接第 250 页)

Crocins Alleviates Hippocampal Neuron Injury in Rats with Cerebral Ischemia-Reperfusion by Inhibiting JAK2/STAT3 Signaling Pathway

LI Xiaolei, ZHU Haisheng, MA Ruijuan, YAO Li*, HU Ke, FENG Lina, WANG Xudong

Handan Central Hospital, Handan, Hebei 056000, China

*Correspondence: YAO Li, E-mail: lfsyxiaoyu@163.com

ABSTRACT Objective To investigate the effect of crocin (CRO) on rats with hippocampal neuron cerebral ischemia reperfusion (CI/R) injury and explore its potential mechanism. **Methods** A total of 144 male SD rats were selected and randomly divided into sham group, model (CI/R) group, CRO low-, medium-, high-dose (CRO-L, CRO-M, CRO-H) groups and nimodipine (NMP) group, with 24 rats in each group. The CI/R rat models were established by suture method. Rats in each group were administered by intrabitoneal injection (ip) once a day starting 7 days before modeling (the CRO-L, CRO-M, CRO-H groups were given 10, 20, 40 mg/kg CRO by ip respectively; the NMP group was given 1 mg/kg NMP by ip; and the sham and CI/R groups were given normal saline 5 mL/kg by ip). After 24 hours of reperfusion, the learning and memory ability of rats was detected by Morris water maze test. The cerebral infarction rate was detected using TTC staining. The neuron pathological changes of hippocampal CA1 and CA3 were observed using HE staining, and the neuronal apoptosis of hippocampal CA1 and CA3 was examined by TUNEL staining. The levels of interleukin (IL)-1 β , IL-8, tumor necrosis factor- α (TNF- α) in hippocampal tissue were detected by ELISA. The expression of Janus kinase 2/signal transducer and activator of transcription 3 (JAK2/STAT3) signaling pathway related proteins in hippocampal tissue were detected by Western blot. **Results** Compared with the sham group, the learning and memory ability of the rats in the CI/R group was significantly decreased, and the cerebral infarction rate significantly increased ($P<0.05$); the neurons in hippocampal CA1 and CA3 showed pathological changes, such as reduced neuron number, enlarged gaps, vacuolar degeneration, blurred nucleolar border, and inflammatory cell infiltration, and the apoptosis rate significantly increased ($P<0.05$); the levels of IL-1 β , IL-8, TNF- α in hippocampal tissue significantly increased ($P<0.05$); the expression of p-JAK2, p-STAT3, high mobility group protein B1, Bcl-2 associated X protein (Bax), cleaved Caspase-3 and the ratio of p-JAK2/JAK2, p-STAT3/STAT3, Bax/Bcl-2 significantly increased, while the expression of Bcl-2 was significantly decreased ($P<0.05$). Compared with the CI/R group, the learning and memory ability of rats in the CRO-M, CRO-H, and NMP groups significantly improved, and the cerebral infarction rate significantly decreased ($P<0.05$). The neuron pathological changes of hippocampal CA1 and CA3 significantly improved, and the apoptosis rate significantly decreased ($P<0.05$). The levels of IL-1 β , IL-8, and TNF- α in hippocampal tissue significantly decreased ($P<0.05$). The expression of p-JAK2, p-STAT3, high mobility group protein B1, Bax, cleaved Caspase-3 and the ratio of p-JAK2/JAK2, p-STAT3/STAT3, and Bax/Bcl-2 significantly decreased ($P<0.05$). The above effects of CRO were dose-dependent, and the CRO-H group was significantly superior to the NMP group in terms of learning and memory ability, hippocampal CA1, CA3 neuronal pathological changes and apoptosis rate, inflammatory factor level, and the expression of JAK2/STAT3 signaling pathway related proteins ($P<0.05$). **Conclusion** CRO may play a protective role against hippocampal neuronal injury in CI/R rats by inhibiting the activation of JAK2/STAT3 signaling pathway, reducing inflammation and neuronal apoptosis.

KEY WORDS cerebral ischemia-reperfusion; crocin; hippocampal neuron; JAK2/STAT3 signaling pathway; inflammation; apoptosis

DOI:10.3724/SP.J.1329.2024.03005