

笔迹分析新技术在精神医学中的应用进展

张银涛 赵弘轶

014040 包头市第六医院临床三科(张银涛); 100094 北京, 解放军第九八四医院精神科(赵弘轶)

通信作者: 赵弘轶, Email: zhaohongyi@126.com

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2020.07.010

【摘要】 书写是一项复杂的、自动的、人类特有的行为活动, 正常书写行为的完成是个人身心健康的体现。随着现代科技的进步和数字技术的应用, 大量证据显示笔迹分析新技术有助于发现和评估多种精神疾病患者的运动、认知、情感等障碍。现对近年来国内外发表的涉及各类精神疾病患者笔迹分析的研究方法、结果和启示等进行回顾, 就笔迹分析新技术在精神医学中的应用作一综述。

【关键词】 书写; 绘画; 笔迹分析; 精神医学; 综述

Application progress of new techniques of handwriting analysis in psychiatry Zhang Yintao, Zhao Hongyi
Department of Psychiatry III, Baotou Sixth Hospital, Baotou 014040, China (Zhang YT); Department of Psychiatry, No. 984 Hospital of PLA, Beijing 100094, China (Zhao HY)
Corresponding author: Zhao Hongyi, Email: zhaohongyi@126.com

【Abstract】 Handwriting is a complex, automatic and unique human activity. The completion of normal writing behavior is a manifestation of personal physical and mental health. With the development of modern science and the application of digital technology, a large amount of evidence has showed that new techniques of handwriting analysis is helpful to detect and assess the movement, cognitive, and emotional disorders of patients with various mental disorders. This paper reviews the research methods, results and Enlightenment of handwriting analysis of patients with various mental disorders published in recent years at home and abroad, and summarizes the application of new techniques of handwriting analysis in psychiatry.

【Key words】 Handwriting; Paintings; Handwriting analysis; Psychiatry; Review

以往很长一段时间, 客观依据的相对缺乏是困扰精神医学研究的现实问题^[1]。精神医学研究者在不断探索和寻求临床上有助于精神科各类型疾病诊治的客观辅助手段。

笔迹是人们在书写绘画及无意涂鸦时留下来的痕迹, 早在我国汉代扬雄就提出了“书, 心画也”之说[《法言·问神篇》]。而在现代医学的发展过程中, 研究者在二百多年前就逐渐开始认识到书写绘画的笔迹分析可以作为疾病诊断的重要辅助工具^[2]。不可否认, 用静态的笔迹分析去解释精神和心理的大部分问题常常难以摆脱“伪科学”的质疑, 但20世纪80年代以来随着数字技术的不断进步, 笔迹分析在新技术的引领下进入“动态化(kinematic)”时代, 静态+动态分析方法相结合令笔迹学(graphonomics)成为与精神医学关系极为密切的热点领域^[3]。

一、正常的书写特性

现代医学认为, 书写是一项复杂的、自动的、人

类特有的行为活动, 正常书写的完成有赖于认知、运动、感觉、情感等多系统的相互协调^[4]。临床上, 研究者尝试根据不同类型的书写特征变化去判断精神疾病患者的认知、运动、感觉、情感的变化^[5]。已有的文献证实精神疾病患者书写特征的变化对于疾病的早期预测、鉴别诊断、病情判断、药物不良反应评价方面的作用突出^[6], 近年来被广泛应用于情感障碍、精神分裂症、自闭症、多动症等精神疾患中。笔迹分析可以在多个维度上描述书写特征, 其中包括笔触压力、书写速度、流畅性、形式内容、字体大小等^[7], 是一项无创、客观、便捷的测评手段^[8]。临床和科研工作中, 大多数笔迹分析研究者主要应用WACOM数位板(Intuos)、数位屏(Cintiq)、电子笔触感笔BiSP等^[9]为硬件, 以此高精度地记录书写或绘画过程中的x/y轴相对位置的协调性、笔触压力、书写时的方位角度、高度等参数^[9]。软件方面, 美国的Teulings教授团队发明的NeuroScript MovAlyzeR

应用最为广泛(NeuroScript Software, Tempe, AZ), 该软件可以获取和计算大量书写方面的静态和动态数据; 以色列的海法大学的Rosenblum教授和团队利用MATLAB软件发明计算机书法评价工具(Computerized Penmanship Evaluation Tool)^[10], 此外还有运用软件进行的其他报道^[10]。

二、不同精神疾病患者的笔迹分析研究

1. 抑郁症: 抑郁症是一种常见的重型慢性精神障碍, 大约有五分之一的成年人在一生中罹患该病^[11]。抑郁症最主要的三大症状包括抑郁情感、心境障碍和能量缺乏。上述症状可能影响抑郁症患者的运动功能, 表现为书写障碍^[12]。

对于抑郁症患者进行笔迹分析研究最著名的两项研究来自德国和以色列, 均与抑郁症患者常见精神运动迟滞(psychomotor retardation)与运动迟缓(bradykinesia)有关。来自德国的研究团队于2004年试图发现抑郁症患者是否存在书写和绘画的障碍^[13], 研究者纳入37例抑郁症患者和37例健康对照者, 书写任务包括:(1)10 s快速画重叠圆;(2)书写德语句子“Der Ball rollt ins Tor”? (英语译为“The ball rolls into the goal”)。书写与绘画过程中的笔迹分析测评的主要动态参数包括平均笔划持续时间(mean stroke duration)、平均峰值速度(mean peak velocity)变异度、平均笔划长度(mean stroke length)等。研究者认为其中平均笔划持续时间等参数是对于被试者运动迟缓的客观反映。结果发现, 抑郁症患者德语句子书写过程中的平均速度变慢; 与健康被试者相比, 尽管抑郁症患者重叠圆绘画过程中的平均速度方面没有差异, 但存在变异度过大的现象。该团队在2007年进一步发表了有关抑郁症患者药物治疗对于书写特征的影响^[14], 该研究观察和比较了为期4周的瑞波西汀(口服4~8 mg/d)或西酞普兰(口服30~60 mg/d)的治疗效果。以力手完成10 s快速画重叠圆同时非力手按压计数器为范式的复杂运动最为明确, 服用瑞波西汀的抑郁症患者的书写绘画速度明显快于服用西酞普兰者。但在其他更为简单任务, 如力手完成30 s快速画重叠圆或书写德语句子, 各治疗组的书写绘画速度并没有显著差异。这样的结果也反映了两种药物在运动改善作用的效果大致相同, 但瑞波西汀可能有更加突出的维持警觉性作用, 因而对于精神运动迟滞的改善更为有效。来自以色列的Rosenblum团队的研究主要集中在轻度抑郁症的老年患者, 该团队最为经典的一项研究是要求被试者完成4个书写任务:(1)希伯来语

字母表;(2)自己的全名;(3)填写一张支票;(4)抄写一个自然段经典希伯来语句。主要的动态参数包括:(1)思考时间(in-air time);(2)字母宽度;(3)笔触压力。结果发现轻度抑郁症老年患者与同龄对照相比, 在所有书写任务下, 书写时的笔触压力均显著偏低; 并且在写自己全名时思考时间更长, 在抄写语句时字母宽度更小。进一步的相关性分析发现, 思考时间主要与抑郁症严重程度即老年抑郁量表(Geriatric Depression Scale, GDS)得分显著相关; 而笔触压力主要与GDS和简易智力状态调查表(Mini-Mental State Evaluation, MMSE, 整体认知功能水平)得分均相关^[15]。该团队在几乎同时发表的另一项研究观察数字化画钟测验(Digital Clock Drawing Test, dCDT)完成过程中的动态参数, 也得到了类似的结果^[16]。因此作者认为书写笔迹的分析对于老年人群轻度抑郁症患者情感功能和认知功能的判断有很高的敏感性。

综上所述可知, 临床上抑郁症患者中的笔迹分析研究主要用以评价精神运动迟滞和运动迟缓。笔迹分析有助于抑郁症的早期发现和病情严重程度判断, 并且可以区分某些抗抑郁药物对于上述两种症状的改善作用。

2. 强迫症: 强迫症是另一种常见的精神疾病, 主要以强迫思维和强迫行为为主要临床表现, 强迫症患者伴发手笨拙、抽动症、运动迟缓、运动协调性差等运动障碍者并不鲜见^[17]。关于强迫症患者的笔迹分析研究, Mavrogiorgou等^[17]做了较为系统的研究, 时间跨度超过20年。早在2001年, 该团队就通过比较22例初发强迫症患者和健康对照被试者发现, 在句子书写任务下, 强迫症患者书写的特点为:(1)峰值速度较慢(提示运动迟缓);(2)写字过小(micrographia);(3)笔划加速相偏短。并且上述症状与强迫症的严重程度(耶鲁布朗强迫症量表评分)密切相关。但是在签名或者连续“aaa”连笔书写任务下, 则未体现出差别。并且强迫症晚期和早期相比, 书写峰值速度的变异度更大而一致性(handwriting consistency)更小, 推测这与强迫症患者基底节功能受损有关。研究者在随后报道了更进一步的研究, 观察了舍曲林治疗对于强迫症患者书写障碍的作用^[18-19]。一方面, 为期10周的舍曲林(分为50 mg、100 mg、200 mg每晚口服)治疗可以显著改善强迫症患者30 s速画重叠圆的平均速度, 说明舍曲林对强迫症患者运动迟缓有明显的疗效。另一方面, 如果在强迫症患者的笔迹分析中发现其力手握笔写字

过小、非力手握笔画圆速度过慢,则此类患者往往对于为期10周的舍曲林治疗效果不佳,表现为强迫症临床效果改善不佳,耶鲁布朗强迫症量表评分降低幅度低于35%。

归纳起来可以看出,笔迹分析可以精准地测得的强迫症患者书写速度方面的变化,这对于早期发现此类患者锥体外系并发症,以及预测某些药物治疗对强迫症患者的效果上大有裨益。

3. 精神分裂症: 精神分裂症是以基本个性改变,思维、情感、行为的分裂,精神活动与环境的不协调为主要特征的一类最常见的精神疾病。精神分裂症患者的运动障碍主要分为自发性(spontaneous dyskinesia)和迟发性(tardive dyskinesia)。近年来的研究发现精神分裂症患者的两种运动障碍均可以用笔迹分析技术量化和评估。例如, Crespo等^[20]对20例精神分裂症患者和44例健康对照的连续4个连笔画圈做笔迹分析和比较,结果发现精神分裂症患者的笔迹特征为速度和加速度更低,画圈直径更大、流畅度更低和笔触压力更高。而且研究者认为精神分裂症患者普遍存在的运动障碍可以用书写绘画的笔迹分析早期发现,笔迹分析所体现出的早发运动障碍是精神分裂症患者的核心症状之一。与之类似, Caligiuri等^[21]募集来自美国圣迭戈的57例精神分裂症患者和70例对照,采用5种书写绘画任务:(1)连笔写“lleellee(复杂环形)”;(2)连笔写“lllllll”(简单环形);(3)力手自主速度画重叠圆;(4)非力手自主速度画重叠圆;(5)力手最大速度画重叠圆。采集的反映运动迟缓的笔迹分析静态和动态参数包括:(1)笔划时长(stroke duration);(2)笔划垂直大小(vertical stroke amplitude or size);(3)垂直峰值速度(peak vertical velocity);(4)非弹道笔划(non-ballistic strokes)占比。结果显示,通过笔迹分析发现存在运动迟缓的精神分裂症患者比例为64%,而通过传统量表辛普森-安格斯锥体外系症状量表(Simpson-Angus Extrapyramidal Signs Scale, SAEPS)评分检出的存在运动迟缓的精神分裂症患者比例为46%。存在明确运动迟缓的精神分裂症患者在笔迹特点上表现出笔划时长更长、笔划垂直大小更小、垂直峰值速度更低。与健康被试者相比,此类患者的非弹道笔划的占比明显更高(36%比20%),并且非弹道笔划的占比与治疗方法、疾病严重程度、抑郁严重程度无关^[21]。由于精神分裂症药物治疗大多针对D2型多巴胺受体,可能存在不同程度的锥体外系损害,因此精神分裂症患者的迟发性运动障碍的比例成为

另一项关注点。Caligiuri团队曾对此做过系统的研究^[22-23],该团队在迟发性运动障碍的精神分裂症患者的笔迹分析中主要发现了两大类异常书写特征:(1)以较长笔划时长、较慢峰值速度为代表的书写运动迟缓;(2)以较高平均标准化急动度、较多加速度次数、较多每笔划峰值速度个数为代表的非流畅性书写障碍。并且大量数据显示,接受阿立哌唑治疗的患者存在剂量相关的书写运动迟缓和流畅性书写障碍;接受利培酮治疗患者主要存在非流畅性书写障碍;而接受喹硫平治疗的患者主要存在书写运动迟缓。

以上研究的结果说明,对于接受药物治疗的精神分裂症患者进行书写绘画笔迹分析是一项客观灵敏的迟发性运动障碍检测手段。同时,各类型书写特征异常可以反映早发性运动障碍,而且有潜力成为精神分裂症患者接受各种药物治疗后出现锥体外系不良反应的预测工具。

4. 自闭症: 对于神经发育障碍类疾病如自闭症或多动症患者而言,由于大部分病例本身存在着学校课程学习障碍,书写障碍对于学业成绩和儿童社交的影响不容忽视,因此在此类疾病患儿中研究书写绘画障碍有着非常广阔的前景。自闭症患者主要表现为严重的、广泛的社会相互影响和沟通技能的损害以及刻板的行为、兴趣和活动为特征的精神疾病。早期的研究已经证实,在不设置外显界限的情况下,自闭症患儿在书写连续环形字母(如连笔写“lll”或“eeee”)的任务下,自闭症患儿可能存在写字过大征、难以辨认等静态参数方面的书写障碍^[24]。随着电子化笔迹分析技术的应用,自闭症患儿更多异常的书写笔迹特征被发现。其中比较有代表性的研究团队是来自澳大利亚的Johnson等。该团队2013年招募26例8~13岁IQ高于75分的自闭症患儿和17例正常发育的儿童对照,利用WACOM硬件配合MovAlyzeR软件记录和分析笔迹,试图探究自闭症患儿除写字过大征以外与正常发育儿童相比更多的异常静态和动态参数^[25]。被试者被要求写下连笔“lll”,结果发现自闭症患儿的笔划高度和宽度更大,字母倾斜度变异性更大,而且书写峰值速度更高。进一步分析发现笔划高度和书写峰值速度与被试者手精细度存在显著的负相关性。在随后的2017年^[26]和2018年^[27]的研究中,研究者将“lll”书写任务拓展为书写方向和大小各有差异的字母如“eeee”“eeel”“eeem”“elcl”“emem”等。静态参数分析增加:(1)曲折度(Tortuosity=字母弧度/直

线距离);(2)非对称比率(asymmetry ratio,指e和l的大小比例,e和m的大小比例)。保留书写速度等动态参数的同时增加笔抬起次数(pen lifts)、思考时间(in-air time)。结果发现自闭症患儿书写障碍表现为曲折度更高,书写峰值速度更高,笔抬起次数少,思考时间少。患儿书写困难原因在于注意力和运动困难有关,特别是其缺乏书写运动计划(motor plan)。这反映了自闭症儿童普遍存在基底节区功能不足。甚至在认知功能正常或超常的高功能自闭症患儿中,Rosenblum等^[28]同样发现了在抄写希伯来语段落过程中书写速度偏慢的现象,而通过有效的书写训练可以提升此类患儿的学习表现。

总而言之,针对自闭症患儿的笔迹分析可以区分其上肢精细运动障碍或相关认知功能障碍所引起的书写障碍。

5.多动症:注意力缺失过动症又称少儿多动症,患儿常有注意障碍和活动过度,可伴有行为冲动和学习困难,同样不能完成正常书写。Langmaid等^[29]通过严格地排除,招募到14例不存在发育性运动协调障碍及自闭症共病情况的少儿多动症患者,通过与14例正常发育儿童的比较,发现在书写连笔“llll”的任务下,小儿多动症患儿的异常书写特征表现在笔划大小的变异度上。Duda等^[30-31]则创造性地设计出一种全新书写任务  以最大限度地评价书写过程中少儿多动症患者注意力的作用,结果发现在这种不熟悉字体的书写任务下,少儿多动症患者的书写流畅性显著低于正常发育患儿,表现为平均标准化急动度明显过高。并且这种书写特征不仅存在于儿童和青少年,甚至在患有多动症成年人中依然表现明显。临床上另一个问题是少儿多动症患者往往需要服用兴奋性药物以控制病情,而此类药物会加剧锥体外系症状并损害其书写流畅性,进而影响学习成绩和儿童社交等。Tucha和Lange^[32]和Rosenblum等^[33]均就兴奋性药物对于少儿多动症患者书写困难的利弊进行过探讨。从笔迹分析研究中看到,尽管药物治疗致书写平均速度降低、增大笔划变异度、降低字体辨识度,但其对患儿的注意力、专注力的保持很有必要,可以维持书写过程中思考时间(in-air time)在较低水平,这对于完成正常书写很有必要。因此需要根据数字化笔迹分析结果增减药物对于少儿多动症患者的治疗有着重大的意义。

以上针对多动症患儿的研究结果提示,笔迹分析对于此类疾病中多见的锥体外系功能障碍和注意

力缺失的评价起重要作用。

三、精神疾病患者书写障碍的可能机制

尽管绝大多数原发性精神疾病的发生缺乏明确的局灶性脑区损伤,但越来越多的证据表明,各种精神疾病的发生机制与锥体外系的功能受损有关。一方面这些损害可能参与精神疾病患者部分或全部的临床症状;另一方面这些损害影响正常书写的完成,进而可通过先进的笔迹分析技术所捕捉。除此之外,部分精神类药物的锥体外系不良反应一直困扰着临床医生,这种不良反应也可以由敏感的笔迹分析技术进行使用剂量的指导以平衡药物治疗的利弊,因此在精神疾病患者中进行笔迹分析具有很好的前景。例如,在自闭症患儿中存在着大脑前额叶、纹状体和小脑的结构障碍^[25],这是影响患儿正常书写和运动障碍的解剖基础。又如,Dean和Mittal^[34]发现精神疾病患者或其高危亲属中,尾状核的体积与书写速度呈正相关,并且也与精神病阴性和阳性症状的出现呈负相关。精神分裂症患者自发性运动障碍和迟发性运动障碍以及书写障碍均与基底节区D2型多巴胺受体功能异常或被药物优先结合有关。以上这些研究均为在精神疾病患者中开展书写的笔迹分析打下坚实的理论基础。

四、笔迹分析的跨文化现象

众所周知,书写的笔迹存在着跨文化现象。来自不同国家或文化背景的研究中所纳入的范式往往各有特点,如Rosenblum等^[33]采用希伯来语书写范式(由右向左书写的闪米特字母文字),Mergl等^[18]采用德语书写范式(由左向右书写的拉丁字母文字)等,以此来发现研究者所在国所招募被试者的书写笔迹特征。中文作为一种独特而历史悠久的文字,与西方语言在字形、结构等有着明显的区别^[35],这无疑对笔迹分析研究产生重大的影响^[36]。即便在汉语背景的研究中,来自中国台湾和中国香港的学者所采用的中文范式多为繁体字^[37-38],这与通用的简体字也有着各自的特点。据笔者统计,目前中国香港的研究团队以繁体字为背景进行过自闭症和少儿多动症患儿的笔迹分析^[37]。李春艳和蔡伟雄^[39]对精神分裂症患者书写特征也进行了研究;厦门笔迹学学会金一贵先生也探讨过汉字书写与心理健康和个人素质的关系^[40-41]。但这些研究并未进行动态数据分析,而只做了静态数据的分析。因此在未来的研究中,利用先进的笔迹分析技术对精神疾病患者的书写特征进行有中文特色的分析探索很值得期待。

五、展望与总结

随着科技的进步,笔迹分析的方法在不断更新,最近涌现出了利用层析技术进行笔痕深度和宽度的测定,进而反映笔触压力的设备^[42-43]。这些方法可以解决数字化笔迹分析必须在线采集数据的弊端,为精神疾病患者笔迹分析的回顾性研究提供了可能性,同时也为笔迹分析的纵向研究提供了便捷性。

总之,尽管目前国内现代医学意义上的笔迹分析研究还不多见,但在精神疾病患者中开展笔迹分析有着广阔的前景。随着数字技术的进步和笔迹分析技术的丰富,越来越多静态和动态数据能够敏感地反映精神疾病患者的书写困难和与之相关的运动、认知、情感等障碍,并且对治疗和预后具有指导意义。

利益冲突 文章所有作者共同认可文章无相关利益冲突

作者贡献声明 论文撰写为赵弘轶、张银涛,论文审校为张银涛、赵弘轶

参 考 文 献

- [1] 严和鬯,郑瞻培. 试谈影响精神科诊断的有关因素[J]. 上海精神医学, 1985, 1: 3-6.
- [2] Parkinson J. An essay on the shaking palsy. 1817 [J]. J Neuropsychiatry Clin Neurosci, 2002, 14(2): 223-236. DOI: 10.1176/jnp.14.2.223.
- [3] Van Gemmert AW, Teulings HL. Advances in graphonomics: studies on fine motor control, its development and disorders [J]. Hum Mov Sci, 2006, 25(4/5): 447-453. DOI: 10.1016/j.humov.2006.07.002.
- [4] 马芮,高佳佳,赵弘轶,等. 认知负荷对老年脑小血管病患者书写及绘画流畅性的影响[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2020, 22(5): 502-505. DOI: 10.3969/j.issn.10090126.2020.05.014.
Ma R, Gao JJ, Zhao HY, et al. Effect of cognitive load on writing and drawing fluency in elderly cerebral small vessel disease patients[J]. Chin J Geriatr Heart Brain and Vessel Dis, 2020, 22(5): 502-505.
- [5] Davoren M, Sherrard N, Breen E, et al. Graphology and psychiatric diagnosis: Is the writing on the wall[J]. Ir J Psychol Med, 2014, 29(1): 52-54. DOI: 10.1017/S0790966700017626.
- [6] van Harten PN, Bakker PR, Mentzel CL, et al. Movement disorders and psychosis, a complex marriage[J]. Front Psychiatry, 2014, 5: 190. DOI: 10.3389/fpsy.2014.00190.
- [7] Gawda B. Little evidence for the graphical markers of depression[J]. Percept Mot Skills, 2013, 117(1): 1346-1360. DOI: 10.2466/03.10.pms.117x15z8.
- [8] Giannini M, Pellegrini P, Gori A, et al. Is Graphology Useful in Assessing Major Depression[J]. Psychol Rep, 2019, 122(2): 398-410. DOI: 10.1177/0033294118759667.
- [9] Thomas M, Lenka A, Kumar Pal P. Handwriting Analysis in Parkinson's Disease: Current Status and Future Directions[J]. Mov Disord Clin Pract, 2017, 4(6): 806-818. DOI: 10.1002/mdc3.12552.
- [10] Li-Tsang CW, Au RK, Chan MH, et al. Handwriting characteristics among secondary students with and without physical disabilities: a study with a computerized tool[J]. Res Dev Disabil, 2011, 32(1): 207-216. DOI: 10.1016/j.ridd.2010.09.015.
- [11] Kessler RC, Berglund P, Demler O, et al. Lifetime prevalence and age-of-onset distributions of DSM-IV disorders in the National Comorbidity Survey Replication[J]. Arch Gen Psychiatry, 2005, 62(6): 593-602. DOI: 10.1001/archpsyc.62.6.593.
- [12] Schröter A, Mergl R, Bürger K, et al. Kinematic analysis of handwriting movements in patients with Alzheimer's disease, mild cognitive impairment, depression and healthy subjects[J]. Dement Geriatr Cogn Disord, 2002, 15(3): 132-142. DOI: 10.1159/000068484.
- [13] Mergl R, Juckel G, Rihl J, et al. Kinematical analysis of handwriting movements in depressed patients[J]. Acta Psychiatr Scand, 2004, 109(5): 383-391. DOI: 10.1046/j.1600-0447.2003.00262.x.
- [14] Mergl R, Pogarell O, Juckel G, et al. Hand-motor dysfunction in depression: characteristics and pharmacological effects[J]. Clin EEG Neurosci, 2007, 38(2): 82-88. DOI: 10.1177/155005940703800210.
- [15] Rosenblum S, Werner P, Dekel T, et al. Handwriting process variables among elderly people with mild Major Depressive Disorder: a preliminary study[J]. Aging Clin Exp Res, 2010, 22(2): 141-147. DOI: 10.1007/BF03324787.
- [16] Heinik J, Werner P, Dekel T, et al. Computerized kinematic analysis of the clock drawing task in elderly people with mild major depressive disorder: an exploratory study[J]. Int Psychogeriatr, 2010, 22(3): 479-488. DOI: 10.1017/S1041610209991360.
- [17] Mavrogiorgou P, Mergl R, Tigges P, et al. Kinematic analysis of handwriting movements in patients with obsessive-compulsive disorder[J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 2001, 70(5): 605-612. DOI: 10.1136/jnnp.70.5.605.
- [18] Mergl R, Mavrogiorgou P, Juckel G, et al. Effects of sertraline on kinematic aspects of hand movements in patients with obsessive-compulsive disorder[J]. Psychopharmacology (Berl), 2004, 171(2): 179-185. DOI: 10.1007/s00213-003-1568-x.
- [19] Mergl R, Mavrogiorgou P, Juckel G, et al. Can a subgroup of OCD patients with motor abnormalities and poor therapeutic response be identified[J]. Psychopharmacology (Berl), 2005, 179(4): 826-837. DOI: 10.1007/s00213-004-2115-0.
- [20] Crespo Y, Ibañez A, Soriano MF, et al. Handwriting movements for assessment of motor symptoms in schizophrenia spectrum disorders and bipolar disorder[J]. PLoS One, 2019, 14(3): e0213657. DOI: 10.1371/journal.pone.0213657.
- [21] Caligiuri MP, Teulings HL, Dean CE, et al. The nature of bradykinesia in schizophrenia treated with antipsychotics[J]. Psychiatry Res, 2019, 273: 537-543. DOI: 10.1016/j.psychres.2019.01.058.
- [22] Caligiuri MP, Teulings HL, Dean CE, et al. Handwriting movement analyses for monitoring drug-induced motor side effects in schizophrenia patients treated with risperidone[J]. Hum Mov Sci, 2009, 28(5): 633-642. DOI: 10.1016/j.humov.2009.07.007.
- [23] Caligiuri MP, Teulings HL, Dean CE, et al. A quantitative measure of handwriting dysfluency for assessing tardive dyskinesia[J]. J Clin Psychopharmacol, 2015, 35(2): 168-174. DOI: 10.1097/JCP.0000000000000277.

- [24] Beversdorf DQ, Anderson JM, Manning SE, et al. Brief report: macrographia in high-functioning adults with autism spectrum disorder[J]. *J Autism Dev Disord*, 2001, 31(1): 97-101. DOI: 10.1023/a: 1005622031943.
- [25] Johnson BP, Phillips JG, Papadopoulos N, et al. Understanding macrographia in children with autism spectrum disorders[J]. *Res Dev Disabil*, 2013, 34(9): 2917-2926. DOI: 10.1016/j.ridd.2013.06.003.
- [26] Grace N, Enticott PG, Johnson BP, et al. Do Handwriting Difficulties Correlate with Core Symptomology, Motor Proficiency and Attentional Behaviours[J]. *J Autism Dev Disord*, 2017, 47(4): 1006-1017. DOI: 10.1007/s10803-016-3019-7.
- [27] Grace N, Johnson BP, Rinehart NJ, et al. Are Motor Control and Regulation Problems Part of the ASD Motor Profile? A Handwriting Study[J]. *Dev Neuropsychol*, 2018, 43(7): 581-594. DOI: 10.1080/87565641.2018.1504948.
- [28] Rosenblum S, Simhon HAB, Gal E. Unique handwriting performance characteristics of children with high-functioning autism spectrum disorder[J]. *Res Autism Spectr Disord*, 2015, 23: 235-244. DOI: 10.1016/j.rasd.2015.11.004.
- [29] Langmaid RA, Papadopoulos N, Johnson BP, et al. Handwriting in children with ADHD[J]. *J Atten Disord*, 2014, 18(6): 504-510. DOI: 10.1177/1087054711434154.
- [30] Duda TA, Casey JE, O'Brien AM, et al. Reduced graphomotor procedural learning in children and adolescents with ADHD[J]. *Hum Mov Sci*, 2019, 65:S0167-9457(18)30340-3. DOI: 10.1016/j.humov.2018.06.018.
- [31] Duda TA, Casey JE, Mcnevin N. Variability of kinematic graphomotor fluency in adults with ADHD[J]. *Hum Mov Sci*, 2014, 38: 331-342. DOI: 10.1016/j.humov.2014.07.006.
- [32] Tucha O, Lange KW. Handwriting and attention in children and adults with attention deficit hyperactivity disorder[J]. *Motor Control*, 2004, 8(4): 461-471. DOI: 10.1123/mcj.8.4.461.
- [33] Rosenblum S, Epsztein L, Josman N. Handwriting performance of children with attention deficit hyperactive disorders: a pilot study[J]. *Phys Occup Ther Pediatr*, 2008, 28(3): 219-234. DOI: 10.1080/01942630802224934.
- [34] Dean DJ, Mittal VA. Spontaneous parkinsonisms and striatal impairment in neuroleptic free youth at ultrahigh risk for psychosis[J]. *NPJ Schizophr*, 2015, 1: 14006. DOI: 10.1038/npschz.2014.6.
- [35] Leung SC, Tsui CK, Cheung WL, et al. A Comparative Approach to the Examination of Chinese Handwriting—The Chinese Character[J]. *J Forensic Sci Soc*, 1985, 25(4): 255-267. DOI: 10.1016/S0015-7368(85)72398-5.
- [36] Yu NY, Chang SH. Characterization of the fine motor problems in patients with cognitive dysfunction - A computerized handwriting analysis[J]. *Hum Mov Sci*, 2018, 65: S0167-9457(17)30841-2. DOI: 10.1016/j.humov.2018.06.006.
- [37] Li-Tsang CWP, Li TMH, Ho CHY, et al. The Relationship Between Sensorimotor and Handwriting Performance in Chinese Adolescents with Autism Spectrum Disorder[J]. *J Autism Dev Disord*, 2018, 48(9): 3093-3100. DOI: 10.1007/s10803-018-3580-3.
- [38] Ma HI, Hwang WJ, Chang SH, et al. Progressive micrographia shown in horizontal, but not vertical, writing in Parkinson's disease[J]. *Behav Neurol*, 2013, 27(2): 169-174. DOI: 10.3233/BEN-120285.
- [39] 李春艳, 蔡伟雄. 精神分裂症患者书写特征与治疗效果相关性[J]. *法医学杂志*, 2014, 2: 93-95. DOI: 10.3969/j.issn.1004-5619.2014.02.05.
Li CY, Cai WX. Relevance between Writing Characteristic and Therapeutic Effect in Schizophrenia[J]. *Journal of Forensic Medicine*, 2014, 2: 93-95.
- [40] 赵廉辅, 金一贵, 曾晓莲. 汉字书写与心理健康之关系初探[J]. *教育理论与实践*, 2005, 7: 25-26.
- [41] 金一贵. 书写心理与优良个性培养[J]. *厦门教育学院学报*, 2001, 3(3): 30-35. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2724.2001.03.005.
Jin YG. Psychology of writing and cultivation of fine personality[J]. *Journal of Xiamen City Vocational College*, 2001, 3(3): 30-35.
- [42] Ozbek N, Braz A, López-López M, et al. A study to visualize and determine the sequencing of intersecting ink lines[J]. *Forensic Sci Int*, 2014, 234: 39-44. DOI: 10.1016/j.forsciint.2013.10.026.
- [43] Dumitra A, Guzowski A, Jean A, et al. Distinguishing Characteristics of Robotic Writing[J]. *J Forensic Sci*, 2019, 64(2): 468-474. DOI: 10.1111/1556-4029.13886.

(收稿日期: 2020-05-02)

(本文编辑: 戚红丹)