

老年脑小血管病老年人手写运动异常的初步研究

赵鸿毅^{1,2,†}、李怡志^{3,†}、汉斯-里奥提尔宁斯⁴、夏翠桥¹、黄永华^{1,*}

¹中国人民解放军总医院第七医疗中心神经内科，邮编：100700北京

²中国人民解放军984号医院神经内科，100094北京

³中国陕西省西安市，中国人民解放军986号医院神经内科，邮编：710054

⁴神经文字有限责任公司，坦佩，AZ 85282，美国

*Correspondence: huangyonghua2017@126. 科姆（黄永华）

这些作者的贡献相等。

学术编辑：Gernot Riedel

提交日期：2023年8月17日 修订日期：2023年9月19日 接受日期：2023年9月26日 出版日期：2024年2月19日

摘要

背景：脑小血管疾病（CSVD）的特征范围从无症状的放射学标志物的出现到包括认知功能缺陷和步态下降等症状性特征。本研究的目的是通过数字化手写运动学评估技术，通过手写和绘画任务来检查CSVD老年人的手写运动是否异常。方法：按Fazekas评分分组，其中重度CSVD组16例，非重度组12例，健康组32例。在手写和绘图任务中记录和分析运动学数据：签名；汉字书写（“正”和“永”）；以及阿基米德的螺旋画。结果：与非重度组和健康组相比，重度CSVD组在签名书写时的速度更低，弯曲度更高，“正”中风#4的速度更低，“永”的垂直尺寸更低。重度CSVD和非重度CSVD受试者的平均正常意识均高于健康组。调整年龄、性别、教育程度和迷你精神状态评估（MMSE）的偏相关分析显示，CSVD负担与特征的弯曲度呈正相关，与“正”的中风速度#3和#4以及“永”的垂直大小呈负相关。结论：老年CSVD患者表现出书写运动异常。数字化手写分析捕获的手写异常与简体汉字使用者的CSVD严重程度相关。

关键词：

衰老、脑小血管疾病、手写分析、运动学、磁共振成像（MRI）；白质高强度

1. 介绍

脑小血管疾病（CSVD）是一种疾病影响脑小血管并导致白质疏松、脑微出血、近期皮质下腔隙性梗死（临床症状）、腔隙（临床症状）、血管周围腔突出和腔隙性梗死等的发展。[1, 2]. CSVD在临床表现[3]中可能是相当“隐蔽的”的。虽然大多数研究关注CSVD患者[4, 5]的下肢功能障碍，但只有少数研究检查了沉默的CSVD患者是否出现上肢[6]异常。

手写和绘画是最重要的我的日常生活活动。它们包含了认知、动觉、视觉空间和运动特征的复杂混合，[7]。随着数字手写分析新技术的发展，研究人员成功地发现了许多微小但典型的手写和绘画特征，包括大小、速度、流畅性、压力等。[8]。数字手写分析已被用于许多神经退行性疾病的早期检测，如阿尔茨海默病[9]，帕金森病[10]，和Hunt-灵顿的疾病[11]。

使用一个反相位，水平线绘制任务，我们的先前的研究证实，患有CSVD的老年人有前-表现出双手协调性较差的[6]。本研究的目的是通过数字化手写运动学分析来评估老年无声CSVD患者的手写和绘画任务的特征。

2. 材料和方法

2.1 参与者

这是一项横断面观察性研究。从2020年4月1日至3月31日。2021年，共16岁的人成人（71.25 ± 5.77岁）顿（我。e.，严重CSVD组），12岁患者（69.00 ± 8.60岁）中度负担CSVD（非重度CSVD），和32轻度负担CSVD或年龄匹配的对照（65.66 ± 4.75岁）（健康组）被招募和筛选3.0 T磁共振成像（MRI）大脑扫描和分组根据法泽卡斯规模[12]。受试者根据白质高强度的严重程度进行分组：3级（con-到严重的CSVD组；2级（早期到非严重CSVD组，1级

版权所有：©2024，作者(s)。由IMR出版社出版。

这是CC BY 4.0许可下的一篇开放访问文章。

出版人注：IMR出版社对已发表的地图和机构附属机构中的管辖权主张保持中立。



(斑点状病变)和0级(无病变)健康组。排除标准为:脑出血;主要精神疾病;非血管性痴呆;精神药物使用;多系统疾病;MRI禁忌症;明显的会损害书写的神经学表现,如偏瘫麻痹、麻木、单侧忽视等。;以及其他引起白质脑病的原因。g.,脱髓鞘,遗传和免疫因子)。收集了所有参与者的基本人口统计学数据,如年龄、性别、身份、教育状况和迷你心理状态评估(MMSE)得分。

. 2.2. 磁共振成像 (MRI) 测量

3.0 T MRI脑部扫描(发现MR750, GE医疗保健, 芝加哥, IL, 美国)显示反映CSVD程度的白质病变。大脑MRI(切片和层间厚度分别为5 mm和1.5mm)执行如下: T1流体衰减反转恢复(重复时间(TR)1750毫秒;回波时间(TE)23毫秒; T1780毫秒;视场(FOV)24cm)和T2加权成像(T R7498毫秒; TE105毫秒; FOV, 24 cm)序列。评估人员对影像学检查结果一无所知。

. 3.2设备

受试者用Wan无墨Wacom Pro笔在Wacom Cintiq DTK1661K0F显示数字化平板上写字和画画(100001967235, 海观科技有限公司., 北京, 中国)。这款平板电脑通过USB接口连接到运行MovAlyzeR6手动的笔记本电脑上编写运动软件(NeuroScript LLC, 坦佩, AZ, 美国; www.neuroscript.网显示器上的平板电脑上有一个ac-识别面积为34.8 cm×19.8 cm, 分辨率为0.001 cm, 精度为0.01 cm, 采样率为100 Hz。

2. 4手写和绘图任务

受试者完成了手写和绘画动作的量化程序, 包括4个图案: 签名(图案1); 汉字“正”(图案2); 汉字“永”(图案3); 以及阿基米德的螺旋形图案(图案4)。所有的任务都是用参与者的惯用手来完成的。这些任务是在随机顺序, 每组有一个固定的3次试验。

. 5.2手写分析变量

. 5.2 1 模式1

签名应为草书, 变量包括: 平均绝对速度(AAV)、平均笔压力(APP)和文字之间的空中长度弯曲度(TOR)。

在许多研究中, 该签名通常被用作手写任务[8, 11]。由于汉字有自己的形状, 我们决定在写全名时使用TOR来分割姓氏和定名, 作为一个潜在的指示参数。TOR, 由弧长与Eu-的比值定义

端点之间的点距离, 是曲率的度量, 因此索引特定写入输出[13]的平滑度。一个高度弯曲的曲线有几个弯曲或曲线, 而一个低弯曲的曲线是有一个相对较宽的环/曲线和更直的曲线。细节如图所示。1A. TOR = 1的方程-绝对尺寸/道路长度。

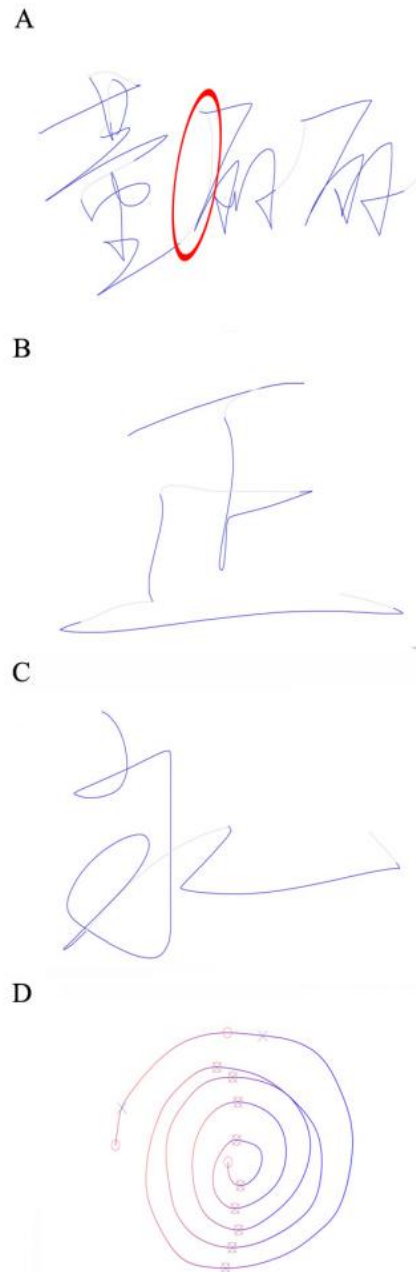


图1. 由一个主题完成的4个手写和绘画任务的例子。(A) 该图显示了在签名上的性能。弯曲度(TOR)源自姓氏和定名(红色环区域)之间的空中部分。(B) 汉字“正”。(C) 汉字“永”。(D) 阿基米德的螺旋。

5.22模式2

“正”用简体中文打印，变量包括中风#3的AAV (AAV#3)和中风#4 (AAV#4)，中风#3的APP (APP#3)和4#中风 (APP#4)。

“正”（发音作“郑”）是一个典型的、简单的、常用的汉字。在以往的中国手写分析研究中，它已被选为写作任务的候选对象[14,15]。研究人员决定使用“正”作为写作任务，因为它是“像方形的”，由五个笔画组成，所有这些笔画都是水平的（笔画#1, #3, #5，从左到右）或垂直的（笔画#2, #4，从上到下）。如图所示。1B，“正”的笔画3是笔尖的水平运动（从左到右），比笔画1和笔画5短。“正”的第4笔程是笔尖的垂直运动（从上到下），比第2笔程短。换句话说，笔画3和笔画4比“正”的其他笔画需要更多的控制。

5.32模式3

“永”用简体草书印刷，变量包括“永”的垂直大小 (VS) 和水平大小 (HS)。选择“永”是因为这个字符包含8种基本形式的笔画[16]。具体细节如图所示。1C。

5.42模式4

阿基米德的螺旋应该使用超过8个垂直笔画完成，变量包括平均标准化抖动 (ANJ)。具体细节如图所示。1D。ANJ是无单位的，因为它在中风持续时间和长度上是归一化的，较高的ANJ评分表明书写动作障碍[17]。

ANJ是每冲程的平均归一化颠簸，其中每上或下冲程的归一化颠簸使用以下方程[18]计算。杰克，我。e.，加速度的时间导数，与移动笔所施加的力成正比。因为时变抖动是一个向量 \mathbf{t} ，混蛋 $y(t)$ 可以有任意方向，我们使用标量 $\frac{1}{2}jerk^2(t)$ 。这个功能集成在一个向上或向下冲程，因此 $\int dt \text{混蛋}^2(t)$ 。由于这个值随着冲程持续时间和冲程长度的变化而显著变化，我们通过乘以持续时间进行归一化 $^5/长度^2$ 。这将使标准化的混蛋没有单位。采用平方根来减少动态范围。一个完美流畅的试验，e.g., 一个恒速圆，应该产生归一化挺举10.96 (= $\pi^3/2^1 \cdot 5$)。任何以加速度和减速的形式出现的不流动都会导致更高的值：

$$\sqrt{\frac{1}{2} \int dt jerk^2(t) \times duration^5 / length^2} \quad (1)$$

然后通过试验中所有中风的平均来计算ANJ。因为方差是倾向的

对于ANJ的平均分数，ANJ分数使用自然对数进行转换，以消除方差不等式[17]。

6.2统计分析

临床和人口统计学数据的分析采用单因素方差分析（方差分析）分析组间差异。如有必要，使用最小二乘差 (LSD) 检验进行进一步比较。采用偏相关分析变量调查年龄、性别、教育程度和MMSE评分与CSVD严重程度之间的相关性。组间比较和相关性检验的显著性阈值设为 $p \leq 0.05$ 。进行分析使用SPSS 25.0软件 (IBM公司, 阿蒙克, 纽约, 美国)。

3. 结果

3.1人口统计数据比较

重度CSVD组、非重度CSVD组和健康组在性别组成和MMSE上无显著差异，而重度CSVD组受试者年龄较大，受教育水平低于其他两组。详情见表1。

3.2手写功能的比较

各组APP差异无显著差异 (507.65 ± 115.14和516.18 ± 76.30 vs 507.57 ± 83.45)的签名。相反，重度CSVD组患者表现出较低的AAV (1.23 ± 0.34 vs 1.82 ± 1.04 vs 1.84 ± 0.72, 综合 $p = 0.022$)和更高的弯曲度 (0.43 ± 0.22 vs 0.28 ± 0.18 vs 0.22 ± 0.17, 综合 $p = 0.003$)比非严重CSVD和健康组。详情见表2。对于模式2，严重CSVD组的AAV#4显著低于非严重CSVD组和健康组 (0.93 ± 0.30 vs 1.39 ± 0.72 vs 1.47 ± 0.59, 综合 $p = 0.008$)。我们在AAV#3 (0.83 ± 0.26 vs 0.92 ± 0.25 vs 1.09 ± 0.54)、APP#3 (542.96 ± 120.74 vs 539.93 ± 75.79 vs 509.73 ± 98)中没有发现明显的差异。83)和APP#4 (543.49 ± 109.22 vs 521.09 ± 79.77 vs 525.95 ± 96.78) (表2)。在模式3中，重度CSVD患者的VS在统计学意义上低于非重症CSVD组患者和健康组患者 (1233.25 ± 406.58 vs 1351.17 ± 383.91 vs 1566.15 ± 394.91, 综合 $p = 0.022$)在他们写了“永”字符的草书版本。然而，在HS中，显著性消失了 (1174.35 ± 450.89 vs 1345.53 ± 3424.27 vs 1392 ± 516.45, 综合 $p = 0.341$) (见表2)。对于模式4，我们发现在阿基米德螺旋绘图中，严重CSVD组患者的Log (ANJ)显著高于非严重CSVD组和健康组个体 (1.54 ± 0.24 vs 1.74 ± 0.32 vs 1.72 ± 0.27, 综合 $p = 0.027$) (表2)。

表1. 临床和人口统计学特征。

| | 严重的CSVD (n = 16) | 非严重性CSVD (n = 12) | 健康 (n = 32) | p值 |
|------------------|------------------|-------------------|--------------|---------------------|
| 年龄, 平均值 (SD) | 71.25 (5.77) | 69.00 (8.60) | 65.66 (4.75) | 0.006* [#] |
| 男男女女 | 9/7 | 4/8 | 18/14 | 0.364 |
| 受教育年限, 平均值 (SD) | .699 (4.00) | 12.67 (3.00) | 11.88 (2.80) | 0.034* [#] |
| MMSE评分, 平均值 (SD) | .8428 (1.05) | .5028 (1.50) | 28.19 (1.60) | 0.252 |

注: *p < 0.05严重CSVD vs. 非严重CSVD, [#]p < 0.05严重CSVD vs. 健康的缩写: MMSE, 小精神状态检查; CSVD, 脑小血管疾病; SD, 标准差。

表2. 手写分析变量。

| | 严重的CSVD (n = 16) | 非严重性CSVD (n = 12) | 健康 (n = 32) | p值 |
|----------|------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| 模式1 | | | | |
| AAV | 1.23 (0.34) | 1.82 (1.04) | 1.84 (0.72) | 0.022* [#] |
| 应用程序 | 507.65 (115.14) | 516.18 (76.30) | 507.57 (83.45) | 0.959 |
| 转子 | .430 (0.22) | 0.28 (0.18) | 0.22 (0.17) | 0.003* [#] |
| 模式2 | | | | |
| AAV#3 | .830 (0.26) | .920 (0.25) | 1.09 (0.54) | 0.130 |
| 应用程序#3 | 542.96 (120.74) | 539.93 (75.79) | 509.73 (98.83) | 0.479 |
| AAV#4 | .930 (0.30) | 1.39 (0.72) | 1.47 (0.59) | 0.008* [#] |
| 应用程序#4 | 543.49 (109.22) | 521.09 (79.77) | 525.95 (96.78) | 0.794 |
| 模式3 | | | | |
| vs | 1233.25 (406.58) | 1351.17 (383.91) | 1566.15 (394.91) | 0.022* [#] |
| hs | 1174.35 (450.89) | 1345.53 (424.27) | 1392.40 (516.45) | 0.341 |
| 模式4 | | | | |
| 日志 (ANJ) | 1.54 (0.24) | 1.74 (0.32) | 1.72 (0.27) | 0.027* ^Δ |

注: 平均 (SD), *p < 0.05严重CSVD vs. 非严重CSVD, [#]p < 0.05严重CSVD vs. 健康的^Δp < 0.05非严重CSVD vs. 健康的

缩写: CSVD, 脑小血管疾病; AAV, 平均绝对速度; APP, 平均笔压力; TOR, 弯曲度; AVV#3, “正”第3笔平均绝对速度; “正”第3笔平均笔压力; AAV#4, “正”第4笔平均绝对速度; “正”第4笔平均笔压力; 对比, “永”垂直尺寸; HS, “永”水平尺寸; 对数 (ANJ), 平均归一化抖动的自然对数变换。

3.3 CSVD严重程度和手写之间的相关性一般来说, 签名被认为是日常的分析变量

生活活动, 不需要思考或空中时间。偏相关, 控制年龄, 性别, 教育-卡利日里等人。[20]报告说签名形成采用阳离子和MMSE评分分析rela-在老年人群的手写运动学上没有差异

CSVD严重程度和笔迹分析的英语使用者之间的关系。然而, 对于

可变因素法泽卡as得分与80岁及以上的人呈正相关, 特征为较低的速度和

TOR (r = 0.409, p = 0.002) 和Log (ANJ) (r = 0.332, p笔压力。在希伯来语使用者中, 罗森布鲁姆等人。[21]

= 0.012), 并与AAV#3呈负相关(r =发现帕金森病患者表现出较低的速度和

-0.314, p = 0.019), AAV#4 (r=-0.332, p = 0.012), 和VS笔压力。根据这些发现, 我们的研究结果

的“永” (r=-0.324, p=0.015)。提示老年重度CSVD患者表现为较低水平

速度比其他两组人都要快, 但我们

4. 讨论没有发现笔的压力的明显差异。这可能是

在目前的的研究中, 我们设法找到了手-解释为汉字使用明显

患有沉默症的老年人的书写运动异常不同于字母字母的写作风格。

CSVD。首先, 严重CSVD组的运动速度较低除了速度和笔的压力, 另一个变量,

在签名写作中, 程度和较高的弯曲度, 较低的ve-托尔, 在姓和名之间的是

“正”的笔画4和“永”的垂直大小收集TOR首次由Grace等人报道。它是

非重症组和健康组。第二, 都是严重的是否发现儿童的书写质量较低

CSVD和非重度CSVD受试者表现出较高的av-鼻子患有自闭症谱系障碍 (ASD)。我们以前的

正常水平比健康组更正常。研究证实了在数字节目期间的播出时间百分比

时钟绘图测试与老年CSVD [1]患者的执行功能障碍相关

。签名的TOR

严重CSVD组显著升高

目前的研究，并与CSVD的严重程度相关。

在东亚国家，“正”书写是检测帕金森病患者微观记录的常用任务，最近的一项研究显示，“正”可以作为早期发现阿尔茨海默病或轻度认知障碍[14]的指示性任务。帕金森病患者表现为水平方向的书写大小减少，与腕部伸展异常有关。正如Ma等人的报道和解释的那样。[22]，“正”的3和4分别需要纯粹的手腕和手指运动。值得注意的是，在目前的研究中，严重CSVD受试者的AAV#4明显低于非严重CSVD组和健康组。此外，严重CSVD组的VS比健康组低于健康组。这些关于垂直方向性的发现提示，严重的CSVD患者可能存在手指运动异常。事实上，近年来的几项研究发现，CSVD患者在手指敲击任务[23, 24]中出现了功能障碍。

ANJ是一个被广泛接受的书写不的指标。在帕金森病、药物诱导性帕金森病和迟发性运动障碍的患者中发现了较高的ANJ[10, 17, 25]，反映了运动功能的损害。根据这些发现，我们发现严重CSVD组和非严重组的ANJ均高于健康组。这表明老年CSVD患者表现出精细运动功能障碍。

通过使用普渡大学的钉板和带凹槽的钉板，先前的研究人员已经表明，CSVD负担与手灵巧性[26, 27]相关。与这些发现一致的是，本研究表明，较高的CSVD严重程度与几个手写分析变量相关，包括较高的签名TOR，阿基米德螺旋画的不流畅性，以及较低的“正”速度和“永”的垂直大小。

这些结果表明，数字手写特征反映了CSVD的负担。

我们的研究结果需要在研究的局限性。首先，样本量不大。第二，在现有的手写分析中使用的常见模式，如循环和圆圈，不包括在我们的手写和绘制任务中。事实上，我们注意到，在本研究中招募的受试者大多是纯简体中文的使用者，并不熟悉循环和循环。任何不必要的陌生感和犹豫感都可能影响数字手写分析的准确性，我们仍在寻找最适合中国用户，特别是老年人的手写和绘画任务。

5. 结论

患有沉默CSVD的老年人在手写和绘画任务中表现出异常的手写运动表现，这可以通过数字化的运动学技术捕捉到。CSVD的严重程度为阳性

与阿基米德螺旋的特征和ANJ弯曲，与“正”第3和4笔画的速度以及“永”的垂直大小呈负相关。这些结果表明，在数字手写分析方面的缺陷与简体中文用户的CSVD负担相关。

在未来的研究中，笔迹分析可能会成为对于那些不能完成行走或有跌倒高风险的CSVD患者，这是一个重要的运动测试。由于书写的跨文化现象，不同国家的书写系统并不总是如此同一的还需要更详细的研究来找出一个适合其他语言用户[28]的任务。此外，一个新的特征，灰质萎缩[29]，据报道与双手协调[30]，因此，研究者应该努力发现潜在的手写运动异常沉默CSVD患者灰质萎缩。

数据和材料的可用性

由于签名具有受试者的私人信息，在当前的研究中生成和/或分析的数据集不能公开获得。但经合理要求，可从通讯作者处获得。

作者贡献

YH设计了这个研究。CX进行了这项研究。HT对分析的数据提供了帮助和建议。HZ进行了一篇文献综述。LC分析数据。所有作者都对手稿的编辑变化做出贡献。所有作者都阅读并批准了最终稿件。所有作者都充分参与了工作，并同意对工作的各个方面负责。

伦理批准和同意参与

所有参与者在研究方案获得人民解放军第七医学中心伦理委员会批准时均提供了书面知情同意。陆军（PLA）总医院，北京，中国（伦理批准代码为2020104）。

确认

作者感谢李宏和王晓飞女士提供的技术支持。

资金

本研究由吴杰平医学基金会资助，资助号为20.6750.18456.

违背公共利益的行为

合著者汉斯-里奥·提林斯是它的所有者。该公司开发和销售移动软件手写运动软件。所有作者都声明，该研究是在没有任何研究的情况下进行的。

可被解释为潜在利益冲突的商业或财务关系。

参考文献

- [1] 赵华, 魏伟, 黄勇. 评估绩效老年脑性小血管疾病患者的数字时钟绘图试验. 神经病学的前沿. 2019; 10: 1259.
- [2] 鲁迪罗索S, 罗德里格斯-巴斯克斯A, 乌拉X, Arboix A. Po神经影像学 and 转化研究对腔隙性卒中的临床治疗的影响. 《国际分子科学杂志》. 2022; 23: 1497.
- [3] Wardlaw JM, 德贝特, 约基宁, 德利菲, 潘托尼, 查布里亚特, 等. ESO隐性脑小血管疾病治疗指南. 欧洲中风杂志. 2021; 6: cxi-clxii.
- [4] Pinter D, 里奇SJ, 杜巴尔F, 加特丁格T, 莫里斯Z, Bastin ME, 等. 脑内小血管疾病对步态和平衡性的影响. 科学报告. 2017; 7: 41637.
- [5] van der 霍尔斯特HM, 图拉达尔, 泽比五世, van Uden IWM, de Laat KF, 范莱森EMC, 等. 脑小血管疾病中的白质改变和步态下降. 神经图像. 临床. 2017; 17: 731 - 738.
- [6] 赵H, 夏C, 黄勇. 老年晒患者严重的小血管病表现为双端协调能力差在反相位水平线绘制任务中. Percept-智力和运动技能. 2023; 130: 750 - 769.
- [7] Garre-Olmo J, [7]-[7]-[7]M, 卡尔沃-Perxas L, Turro-Garriga O. 手写和绘画的运动学和压力特征: 轻度认知障碍患者、阿尔茨海默病患者和健康对照组之间的初步结果. 目前的阿尔茨海默病研究. 2017; 14: 960 - 968.
- [8] Thomas, Lenka, 库马尔朋友. 手写分析帕金森病: 现状和未来的发展方向. 运动障碍的临床实践. 2017; 4: 806 - 818.
- [9] Muller, HerdeL, 出版社, 泽勒, 海曼, 罗宾斯, 等. 数字时钟绘制测试与CERAD神经心理电池总分对阿尔茨海默病早期病程患者与健康个体的鉴别的诊断价值. 科学报告. 2019; 9: 3543.
- [10] 纳克尔茨, 布罗德, 佩雷拉议员, 斯温宁, 范登伯格, 纽博尔, 等. 帕金森氏症的手写训练: 大小、速度和流畅性之间的权衡. 一个PLoS. 2017; 12: e0190223.
- [11] 卡里吉乌里M, 斯奈尔C, 公园S, 科里-布鲁姆J. Handwrit-有症状和表现前的亨廷顿氏病的运动异常. 运动障碍的临床实践. 2019; 6: 586 - 592.
- [12] Fazekas F, [12], A, 齐默尔曼RA. Mr在阿尔茨海默氏痴呆和正常衰老的1.5 T时信号异常. 加速的交接区心律美国xx线学杂志. 1987; 149: 351 - 356.
- [13] Grace N, 恩蒂科特PG, 约翰逊英国石油公司, 莱因哈特公司. 执行令状 认知困难与核心症状、运动熟练程度和注意行为相关? 自闭症和发育障碍杂志. 2017; 47: 1006 - 1017.
- [14] Yu NY, 张志. 认知功能障碍患者精细运动问题的特征-计算机手写分析. 人类运动科学. 2019; 65: S0167 - 9457(17)30841 - 2.
- [15] 周J, 江B, 黄晓, 孔林, 李鸿利. 特点中国阿尔茨海默病和失忆性轻度认知障碍患者的研究. 中华医学杂志. 2016; 129: 1553 - 1557.
- [16] 梁, 徐克, 张WL, 钟MWL. 比较检查汉字书写的方法-汉字. 法医科学学会的杂志. 1985; 25: 255 - 267.
- [17] 卡利吉里议员, 图林斯, 院长CE, 洛尔JB. 一种评估迟发性运动障碍的书写流畅障碍的定量测量方法. 临床精神药理学杂志. 2015; 35: 168 - 174.
- [18] Van Gemmert AW, 德国通用电气公司. 帕金森病患者随着处理需求的增加而减少了中风的大小. 脑与认知. 2001; 47: 504 - 512.
- [19] 罗森布卢姆S, 沃纳P, 德克尔T, 古雷维茨I, 海尼克J. 手老年轻度重度抑郁症患者书写过程变量的初步研究. 老化的临床和实验研究. 2010; 22: 141 - 147.
- [20] 卡利吉乌里议员, 金C, 兰迪KM. 健康衰老过程中签名书写的运动学. 法医科学杂志. 2014; 59: 1020 - 1024.
- [21] 罗森布卢姆S, 塞缪尔·M, 兹洛特尼克S, 埃里克I, 施莱辛格I. 手写作为帕金森病诊断的客观工具. 神经病学杂志. 2013; 260: 2357 - 2361.
- [22] 马海, 黄慧慧, 张志, 王泰. 渐进式微帕金森病患者的水平书写, 而不是垂直书写. 行为神经病学. 2013; 27: 169 - 174.
- [23] Su N, Zhai FF, 周LX, 倪J, 姚M, Li ML等. 大脑的小血管疾病负担与社区居住人群的下肢和上肢的运动表现有关. 老年神经科学的前沿. 2017; 9: 313.
- [24] 侯, 李, 杨, 秦, 杨左, 胡. 步态损伤脑损伤和上肢功能紊乱与全磁共振成像的脑小血管疾病负担有关. 老年神经科学的前沿. 2021; 13: 640844.
- [25] 卡利吉乌里议员, 律师HL, 菲罗特奥JV, 歌曲D, 洛尔JB. 手写帕金森病评估中的定量测量. 人类运动科学. 2006; 25: 510 - 522.
- [26] 尼奎斯特PA, 亚内克LR, 比尔格LM, 库佐克罗J, 贝克尔LC, 谢瓦利尔-戴维斯K等. 白质病变对健康中年人灵巧度的影响. 神经病学. 2015; 84: 1920 - 1926.
- [27] Riaz M, 万伯格TR, 瓦西伦科O, 卡斯特罗-查维拉S, 戈雷卡MM, 滑铁卢K, 等. 手部运动功能告诉我们衰老的大脑与WMH的关系? 老化的临床和实验研究. 2021; 33: 1577 - 1584.
- [28] 赵, 张, 夏, 刘, 李, 黄. 数字的中国轻度认知障碍患者汉字的手写分析. 可视化实验杂志: JoVE. 2021; 169: e61841.
- [29] 格劳-奥利瓦雷斯, 阿根廷, 阿根廷-乌尔基霍, RoviraM, BartresFazD. 血管性轻度认知障碍患者的进行性灰质萎缩. 脑血管疾病 (瑞士巴塞尔). 2010; 30: 157 - 166.
- [30] Geva S, 詹施克S, 张华, 嘉天DG, 瓦尔加-哈德姆F. 尾状核体积减少与围产期缺氧-缺血所致海马萎缩患者的运动协调障碍有关. 神经图像. 临床. 2020; 28: 102429.