

“易学灵”人机对话系统对数学学习困难学生的 干预效果: 来自事件相关电位 P300 的证据^{*}

姚 茹 张 冲 孟万金

(中国教育科学研究院学习科学与创新实验室, 北京, 100088)

摘要 数学学习困难影响 6% ~ 14% 的学龄期智力正常儿童, 对数学学习困难学生的干预和矫治已成为亟待研究的课题。本研究使用国家专利产品“易学灵”(Enjoy Learning) 人机对话系统(批准号: ZL2012 2 0181187. 4) 对数学学习困难学生进行为期三个月的干预, 在行为测验进步显著的基础上, 进一步以事件相关电位 P300 成分为脑电指标评估干预效果。采用实验组对照组前测后测设计, 将 32 名初一数学学习困难学生分为同质的两组, 训练组接受每天 30 分钟的“易学灵”人机对话系统训练, 对照组则只进行常规学习生活, 不接受训练。训练前后, 两组被试均接受视觉 oddball 任务的脑电测试。结果发现, 训练组的后测 P300 波幅比前测显著降低、枕区潜伏期显著缩短, 而对照组前后测 P300 波幅和潜伏期则无显著差异, 表明“易学灵”人机对话系统能够提高数学学习困难学生的信息加工容量和信息加工效率。

关键词 “易学灵” 数学学习困难 脑机制 P300

分类号 B849

1 引言

数学能力是人类日常生活必备的基本技能, 学生在校期间的数学能力对其终身发展具有很大影响。据统计, 约有 6% ~ 14% 智力正常、接受合适学校教育的学龄儿童在数学学习上存在困难^[1]。数学学习困难对学生未来的工作成就、经济决策、医疗风险评估以及社会活动都会产生终生影响^[2-4]。如何对数学学习困难学生进行有效的训练和干预, 以帮助这些学生摆脱数学学习困难方面的问题, 是研究者们尤其是数学教育者们亟待解决的问题。

数学学习困难(Mathematics Learning Difficulties, MLD, MD) 又叫数学障碍(Mathematics Learning Disabilities)、算术学习障碍(Arithmetic Learning Disabilities)、计算障碍(Dyscalculia) 或发展性计算障碍(Development Dyscalculia) 等, 是学龄儿童的一种主要学习困难类型, 指由于与数学学习有关的能力或技能的缺损而导致学生数学学习成绩明显落后于同年龄或同年级儿童的现象, 此类型学生最明显的表现是在标准化数学测验上所得的成绩显著地与其自身的年龄、智力、

所在年级应有的教育水平的预期标准不相符, 而这种数学能力的缺损并不是由于身体或智力上的原发性缺陷造成的^[5]。数学学习困难的成因至今尚未完全明了, 一些研究认为, 可能与遗传、发育、轻微脑损伤、中枢神经系统功能失调或结构异常有关^[6]。

研究者对数学学习困难学生的特征和解释主要从领域特殊性因素(domain-specific factors) 和领域一般性因素(domain-general factors) 两个角度进行, 这两个方面都得到了实证研究的支持。领域特殊性因素即数字因素, 包括单一数字加工能力和多个数字加工技能(如数字系统知识和估算) 两种, 该假说认为, 数学学习困难是由数字加工缺陷或“数字感(number sense)”缺陷造成的^[7]。领域一般性因素即认知因素, 包括语音技能、工作记忆、长时记忆、视觉空间加工、推理、加工速度等, 该假说认为, 数学能力包括一系列的认知技能, 任何一种认知能力受损都会影响行为, 数学学习困难是由认知系统功能失调导致的^[8]。例如, 与同龄普通儿童相比, 数学学习困难儿童的计数广度较差^[9], 在非数字工作记忆任务中正确率较低且加工效率较差^[10]。

以上两种假说得到脑成像研究成果的支持。在领

^{*} 本文系张冲主持的国家社会科学基金“十二五”规划 2013 年度教育学青年课题“初中学习困难学生情绪智力对学业成绩的影响和干预研究”(批准号: CBA130122) 和姚茹主持的中国教育科学研究院 2014 年度基本科研业务专项基金: 多元干预提升学困生选择性注意能力的脑电研究”(批准号: GY2014XDY102) 的阶段性成果。

** 姚茹, 博士, 助理研究员, 研究方向: 学习科学, 认知神经科学。E-mail: yaor@nies.net.cn。

*** 通讯作者: 孟万金, 博士, 教授, 博导, 研究方向: 幸福教育, 积极心理健康教育, 学习困难。E-mail: mengwj@nies.net.cn。

域特殊性因素方面,大量研究表明,顶叶是负责数字表征的主要脑区,而数学学习困难儿童在顶叶结构和功能上与普通儿童存在差异。例如,在进行数量比较、数字符号比较和计算任务时,数学学习困难儿童顶内沟(Intraparietal Sulcus, IPS)激活比普通儿童少^[11-13],即数学学习困难儿童在做这些任务时没有充分利用IPS脑区;数学学习困难儿童负责基本数字加工的脑区灰质较少,包括左侧IPS^[14]、右侧IPS^[15]和双侧IPS^[16],即数学学习困难儿童这些脑区的发育不如普通儿童;弥散张量成像研究发现,在与符号数字形式加工相关的各顶区结构之间的连接以及各顶区结构与枕颞区之间的连接上,数学学习困难儿童与普通儿童存在差异^[16],即数学学习困难儿童协调计算能力所需的脑结构发育不充分。在领域一般性因素方面,研究者发现,前额叶皮质(prefrontal cortex, PFC)等负责工作记忆、执行功能等认知系统的脑区也参与到复杂的计算能力中^[17],包括负责有意存储和提取的双侧额下回(inferior frontal gyrus, IFG)、多步骤计算时负责操纵工作记忆信息的双侧额中回(middle frontal gyrus, MFG)等^[17-19],而数学学习困难儿童在这些脑区上也同样存在活动异常。例如,符号数字比较任务中,数学学习困难儿童右侧额中回和右侧中扣带回激活较少^[11];非符号数字比较任务中,数学学习困难儿童在左额回和左侧额中回的数字距离效应减少^[12]。

在数学学习困难干预方面,目前的研究较少,内容也主要针对数学学习困难在数学学习过程中的表征技能和教学补救式干预训练,较少有对数学学习困难的心理过程缺陷补偿和生理功能改善方面的研究^[20],即,主要注重对领域特殊性因素的训练,亟需开发有效的干预方法对领域一般性因素进行改善,提高数学学习困难学生的信息加工容量和信息加工效率。“易学灵”(Enjoy Learning)快乐学习人机对话系统可以很好地满足领域一般性因素和领域特殊性因素两方面的训练需求。

首先,“易学灵”系统是以改善大脑结构和功能、提高大脑神经网络工作效率为目的设计的。该系统以大脑两半球特异性理论和具身认知理论为支撑,吸收了认知神经科学和教育科学的最新研究成果,可提高神经系统信息加工的效率,促进大脑组织的神经连接与协作。该系统使用平衡和身体运动将听觉、视觉、动作计划、触觉、平衡、身体位置和神经反馈系统整合起来,以加强大脑的神经传递,真正激发脑潜能^[21]。其次,“易学灵”系统注重学科知识的巩固和应用,并直接将学科知识与身体运动结合在一起。此外,“易学灵”系统还设置了各种与电脑互动的认知游戏,是一个人机对话系统^[22-23]。该系统已用于运动员、普通学生、正常成年人、ADHD儿童、阅读障碍儿童等人群中,

能够提高视觉听觉加工能力、记忆力、手眼协调性、阅读、写作、语音、语言、数学能力以及体育竞技能力^[21-22],而对数学学习困难学生的干预效果尤其是干预后大脑认知功能发生了什么样的变化,还有待于进一步研究。本研究将主要从认知和脑功能方面关注“易学灵”系统对数学学习困难学生的干预效果。

事件相关电位(event-related potentials, ERPs)是一种无创技术,具有很高的时间分辨率,已作为一种电生理工具,用来研究认知活动的神经基础,并在临床应用上用于研究精神病人、神经病人、学习障碍以及注意缺陷、痴呆和其他认知缺陷^[24]。使用ERPs技术来评估干预效果,能够客观地反映大脑认知加工过程发生的变化,更具可靠性。最为人熟知的认知ERP成分是P300,它是较早发现的内源性ERPs成分,目前已成为研究得最多的人类电生理指标之一。对于P300成分的意义,研究者至今无法将其锁定到某一特定的认知加工上^[25],它是一种复合的、多样的成分,能够反映各种基本认知功能,已被用于临床实践,以评估正常个体和神经心理疾病患者的认知能力^[26]。由于P300能够反映各种认知加工过程,使用P300成分作为评估干预后大脑认知功能变化的指标,将具有很好的代表性。

P300通常出现在oddball任务中非频繁呈现的靶刺激之后,其潜伏期在300ms左右或更长。Oddball任务是认知神经科学中使用最广泛的实验范式之一,它是一种简单的辨别任务,通过探测P300成分来研究信息加工效率。该任务中,随机呈现两种感觉刺激,一种刺激的出现频率高,另一种出现频率则很低。要求被试忽略频率高的刺激(标准刺激),只对出现频率低的刺激(靶刺激)进行反应。在靶刺激呈现后300~500ms,会出现一个长潜伏期的ERPs正成分P300,而标准刺激呈现后则完全没有类似的反应^[27]。

本研究以国家专利产品“易学灵”快乐学习人机对话系统为训练载体,对河北省邢台市某中学初二19名数学学习困难学生进行为期三个月的干预,并使用视觉oddball任务进行前测和后测,以P300成分作为训练效果评估的ERPs指标,探讨符合实际的突破学困路径。为排除同一任务的重复测量效应等无关变量的影响,本研究设置了不参加训练的对照组。对照组与训练组尽量保证同质,除了不参加训练外,其他测试安排均与训练组相同。

2 研究方法

2.1 被试

使用学习适应性测验(AAT)、学习障碍筛查量表(PRS)和瑞文标准推理测验(SPM),结合学习成绩和班主任推荐,从河北省某初中二年级学生中筛选出数学学习困难学生32名。筛选的标准为:(1)AAT测验

等级在 2 等或 2 等以下; (2) PRS 量表总分 < 65; (3) 上学学期期末考试数学成绩 Z 分数低于 25%; (4) 智力测验 SPM 标准分数高于 50%; (5) 无其他明显视、听感官障碍、运动缺陷、情感障碍、社会文化适应不良或其他躯体和精神疾病。将筛选出的数学学习困难学生随机分为两组, 一组接受“易学灵”系统训练(训练组), 另一组进行常规学习生活(对照组)。

2.2 研究程序

2.2.1 前测

采用视觉 Oddball 范式, 以字母 b 为标准刺激(非靶刺激, 概率 80%), 字母 d 为偏差刺激(靶刺激, 概率 20%)。实验程序使用 E-prime 软件编制, 屏幕背景为黑色, 刺激材料为白色。整个实验在光线微弱的环境下进行, 被试端坐于微机前, 双眼平视计算机屏幕中心, 离屏幕的距离为 70~100cm。

屏幕中央先呈现注视点“+”200ms, 空屏间隔在 700ms 到 1100ms 之间随机, 之后出现刺激字母 b 或 d, 其中, 对于一半的被试, “b”为靶刺激, 出现的概率为 20%; “d”为非靶刺激, 出现的概率为 80%; 对于另一半被试则相反, “d”为靶刺激, “b”为非靶刺激。b 和 d 出现的顺序随机。

实验过程中, 要求被试注视屏幕中央的注视点, 当出现靶刺激时, 又快又准确地按数字小键盘上的“3”键; 当出现非靶刺激时, 不按键。非靶刺激的呈现时间为 1000ms, 靶刺激则在被试按键反应后再停留 1000ms 后消失。如果被试反应错误, 屏幕上会出现“错误”字样的反馈。之后开始下一个试次。

正式实验开始前, 被试先进行 20 个试次的练习, 如果练习正确率超过 90%, 则进入正式实验, 否则继续练习。正式实验共有 2 个组块, 每个组块包括 180 个试次, 两个组块之间被试可以自己控制休息时间。视觉 oddball 任务程序流程图见图 1。

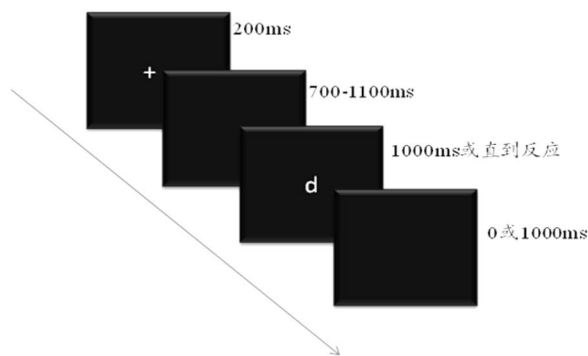


图 1 视觉 oddball 任务程序流程图

2.2.2 训练

每天对训练组学困生进行 30 分钟的“易学灵”快乐学习系统训练。对照组则在同一时间段安排自学。

2.2.3 后测

同前测, 不同之处在于标准刺激与偏差刺激与前测相反。

2.3 研究设计

采用实验组对照组前测后测设计, 将数学学习困难学生分为接受训练的训练组和不接受训练的对照组, 通过前测和后测, 比较训练前后学困生的 P300 波幅和潜伏期是否发生显著变化。

2.4 EEG 采集

使用 NeuroScan 公司的 ESI-64 系统对 EEG 数据进行实时记录, 电极安放位置符合国际 10-20 系统的电极分布标准。64 导脑电测试的电极位置分布见图 4。使用左侧乳突做参考电极。使用放置在右眼中线上方和下方的两个电极记录垂直眼电(VEOG), 水平眼电(HEOG)的记录电极放置在左右眼外侧与眼球处于同一水平线的位置。所有电极使用导电膏与头皮接触, 保证每个电极输入阻抗低于 5K Ω 。EEG 数据采集软件为 NEUROSCAN, 放大器为 SYNAMPS2, 采用 DC 连续采样, 采样率为 1000Hz, 低通为 100 Hz。

EEG 离线分析使用 SCAN4.3.1 软件进行。对原始脑电数据进行 DC 校正, 将左侧乳突参考电极转换为双侧乳突作参考电极。眼电伪迹使用 NEUROSCAN 标准校正算法进行校正。将连续的 EEG 数据进行分段, 分段的时长为刺激前 200 ms 到刺激后 1000ms。以刺激前 200ms 为基线进行基线校正。将除眼电以外波幅超过一定范围的段视为伪迹片段进行排除, 排除标准为 $\pm 70\mu\text{V}$ 之外。最后, 分别对两种刺激类型(靶、非靶)的 ERPs 波形进行叠加平均, 并使用低通 30Hz(24 db/octave)进行滤波。

2.5 数据分析

2.5.1 行为数据分析

行为数据使用 SPSS 17.0 软件进行分析。因变量为反应时和正确率。对于每名被试, 剔除反应时大于 1000ms 的试次。统计显著性水平为 0.05。

2.5.2 脑电数据分析

采用 SPSS 软件对靶刺激诱发的 P300 峰值和潜伏期进行统计。

对两组被试的总平均波形图进行观察可以看出, 靶刺激锁时的 P300 成分主要出现在刺激呈现后 450ms 左右, 位置在额区、中央区、顶区和枕区电极, 中央区和顶区 P300 波幅最大。以往研究中, 视觉 oddball 任务中的典型 P300 成分是指靶刺激比非靶刺激诱发了一个更大的正波, 该成分在中央区和顶区波幅最大, 时间窗口一般为靶刺激呈现后 300~600ms 左右^[28]。

根据已有研究, 结合本研究的 ERPs 波形视觉探测, 选定 350~550ms 的时间窗口进行 P300 波幅和潜伏期的测量, 并检查每名被试的测量结果, 发现有 3 名

被试的 P300 峰值落在 550ms 之后,对这 3 名被试划定较长的时间窗口(350 ~ 750ms)进行了单独测量。选择 FZ、CZ、PZ、OZ 四个电极位置进行统计分析。

分别对训练组、对照组的 P300 波幅和潜伏期进行 2(测试类型:前测、后测) × 4(电极位置: FZ、CZ、PZ、OZ) 两因素重复测量的方差分析,以探测训练前后两组被试 P300 的变化。对自由度大于 1 的情况进行 Greenhouse - Geisser 校正,多重比较使用 Bonferroni - Dunn 方法,统计显著性水平为 0.05。

3 研究结果

3.1 行为结果

分别对反应时和正确率两个因变量进行 2(测试类型:前测、后测) × 2(被试类型:训练组、对照组) 两

因素重复测量的方差分析,结果发现,测试类型的主效应、被试类型的主效应、测试类型与被试类型的交互作用均不显著($p > 0.05$)。

3.2 ERP 结果

“易学灵”系统训练前后,训练组和对照组被试在各代表性电极上靶刺激锁时的 ERPs 原始波形见图 2。根据 ERPs 总平均波形图特征可以看出,训练组和对照组被试都出现了靶子诱发的 P300 成分,其脑区分布从额区一直到枕区,最大幅值位于中央顶区和顶区附近,波峰约在 450ms 左右。

为检验训练组和对照组在前测时是否同质,对两组被试在所有电极上的前测 P300 波幅和潜伏期进行了独立样本 t 检验,未发现显著差异,表明干预前两组被试的 P300 波幅和潜伏期处于同一基线水平。

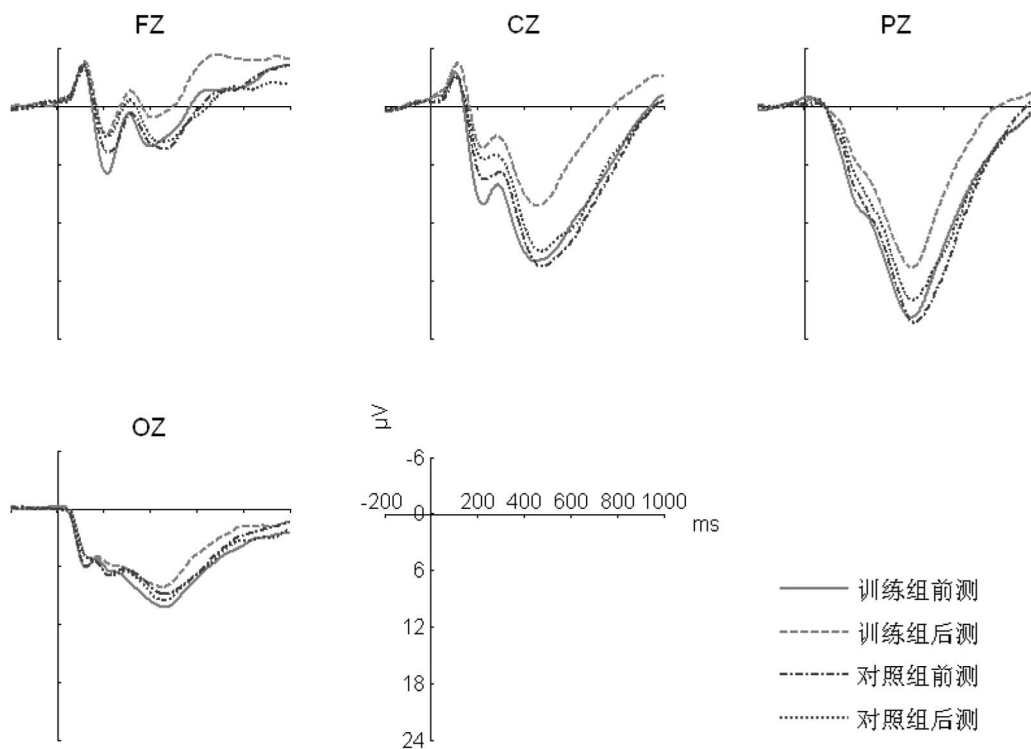


图2 数学学习困难训练组和对照组前后测 P300 波形图

3.2.1 P300 峰值

对于训练组,测试类型(前测、后测) × 电极位置(FZ、CZ、PZ、OZ) 两因素重复测量方差分析发现,测试类型的主效应显著($F_{(1,15)} = 10.232, p = 0.006, \eta^2 = 0.406$),前测的 P300 波幅显著大于后测,表明训练后训练组被试的 P300 波幅显著降低。电极位置的主效应显著($F_{(3,45)} = 40.012, p < 0.001, \eta^2 = 0.727$),CZ 和 PZ 电极上的 P300 波幅最大,表明 P300 最大波幅出现在中央区和顶区。测试类型与电极位置的交互作用不显著($F_{(3,45)} = 0.745, p = 0.483, \eta^2 = 0.047$),表明

各电极位置上后测 P300 波幅降低幅度不存在显著差异。对于对照组,两因素重复测量方差分析发现,测试类型的主效应不显著($F_{(1,15)} = 0.052, p = 0.823, \eta^2 = 0.003$)。电极位置的主效应显著($F_{(3,45)} = 85.111, p < 0.001, \eta^2 = 0.850$),CZ 和 PZ 电极上的 P300 波幅最大,表明 P300 最大波幅出现在中央区和顶区。测试类型与电极位置的交互作用不显著($F_{(3,45)} = 0.717, p = 0.463, \eta^2 = 0.046$),表明在各电极位置上对照组被试训练前后的 P300 波幅都没有发生明显变化。

两组被试的前后测 P300 波幅比较见图 3。

3.2.2 P300 潜伏期

对于训练组, 测试类型(前测、后测) × 电极位置(FZ、CZ、PZ、OZ) 两因素重复测量方差分析发现, 测试类型的主效应不显著($F_{(1,15)} = 0.873, p = 0.365, \eta^2 = 0.055$)。电极位置的主效应不显著($F_{(3,45)} = 2.623, p = 0.085, \eta^2 = 0.149$)。测试类型与电极位置的交互作用显著($F_{(3,45)} = 3.042, p = 0.047, \eta^2 = 0.169$)。进一步分析发现, 在 OZ 电极上, 后测 P300 潜伏期显著小于前测($F_{(1,15)} = 5.436, p = 0.034, \eta^2 = 0.266$)。表明训练后训练组枕区 P300 潜伏期明显缩短。对于对照组, 两因素重复测量方差分析发现, 测试类型的主效应不显著($F_{(1,15)} = 0.847, p = 0.372, \eta^2 = 0.053$)。电极位置的主效应不显著($F_{(3,45)} = 2.223, p = 0.111, \eta^2 = 0.129$)。测试类型与电极位置的交互作用也不显著($F_{(3,45)} = 0.138, p = 0.858, \eta^2 = 0.009$)。表明在各电极位置上对照组被试训练前后的 P300 潜伏期都没有发生明显变化。

两组被试在 OZ 电极上的前后测 P300 潜伏期比较见图 4。

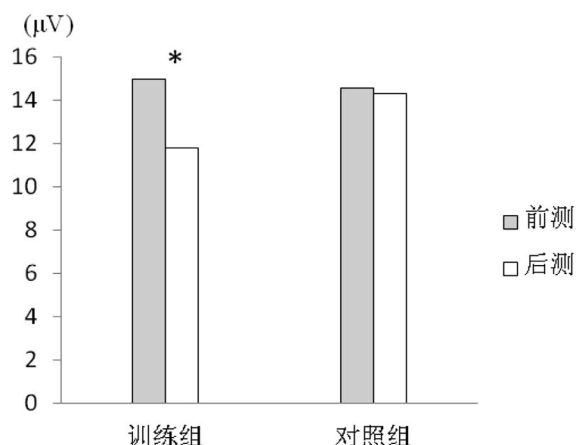


图3 数学学习困难训练组和对照组前后测 P300 波幅比较
(注: * $p < 0.05$)

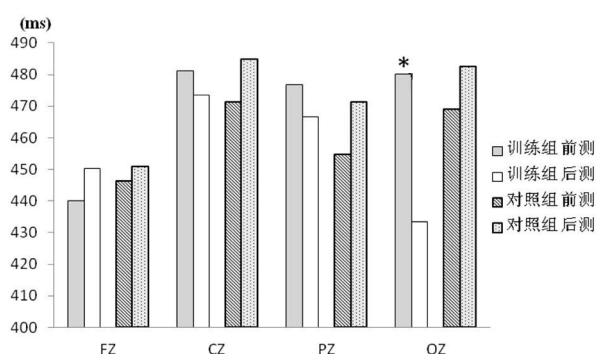


图4 数学学习困难训练组和对照组后测 P300 潜伏期比较
(注: * $p < 0.05$)

4 讨论

本研究中, 无论前测还是后测, 数学学习困难学生训练组和对照组都出现了靶刺激诱发的典型 P300 成分, 其峰值在 350 ~ 550ms 之间, 在中央顶区最大, 这与已有研究结果一致^[28-29]。本研究使用 P300 作为“易学灵”系统干预效果评估的脑电指标, 通过考察训练组接受“易学灵”快乐学习训练前后的 P300 波幅和潜伏期的变化来评估训练效果。结果发现, 接受“易学灵”快乐学习训练后, 数学学习困难学生训练组的 P300 波幅比训练前显著降低, 且枕区电极 P300 潜伏期比训练前显著缩短。而前测时基线一致的对照组在后测时的 P300 波幅和潜伏期与前测相比都未发生显著变化, 说明训练组的 P300 波幅降低、潜伏期缩短主要是由训练造成的, 排除了重复测量效应的影响。这一结果证明“易学灵”快乐学习训练对数学学习困难学生是有效的, 在脑电上表现为 P300 波幅降低、潜伏期缩短。

以往有关干预和训练方面的研究也有类似的结果。例如, 有研究者对睡眠剥夺被试进行了干预, 结果发现, 干预后 P300 潜伏期缩短、波幅降低^[30]。还有研究者使用听觉 oddball 范式探讨了听觉训练对听障儿童的影响, 结果发现听觉训练后 P300 潜伏期比训练前显著缩短^[31]。

P300 波幅一般被认为是衡量加工容量和心理负荷的指标^[32], 主要反映信息加工强度^[33,34], 也有很多研究者认为其反映注意资源^[35]或“知觉-中心”资源^[36]的需求。重复测量的 oddball 任务中, 很多研究者认为 P300 波幅降低与资源分配和重新配置有关^[30-32,37]。另外, 有研究发现 P300 反映被试主观感受到的困难程度, 而不是任务的客观难度^[30,31,37]。本研究中, 训练组后测 oddball 任务 P300 波幅降低的原因可能是由于训练组被试在重复接受 oddball 任务时主观上感觉到的任务难度降低了, 从而倾向于减少对该任务的注意投入, 或者只使用更少的心理努力和注意资源便可成功完成任务, 导致 P300 波幅较低。而对对照组被试并没有发生明显的变化, 说明“易学灵”系统训练使数学学习困难训练组信息加工容量有所提高, 资源配置更加有效。

此外, 本研究中训练组 P300 波幅降低还可能是学习带来的神经可塑性的结果。研究者发现, 在单次测量任务中, 随着靶刺激的重复出现, P300 波幅越来越低^[38]; 在训练任务或重复测量任务中, P300 既表现出了短时可塑性, 也表现出长时可塑性^[39,40]。研究者并没有将这些结果解释为重复效应, 而是解释为学习的作用, 认为 P300 波幅降低是神经反应习惯化(Habituation)的结果, 反映了神经可塑性^[41]。经过重复, 被试对任务相关的刺激更加熟悉, 对其加工变得更为

容易,神经反应便发生了习惯化,这是一种学习机制。有研究者探讨了听觉 oddball 任务知觉学习对接受过和没接受过音乐训练的人短时神经可塑性的影响,对被试进行了两次听觉 oddball 任务重复测试(第一天提供反馈,第二天不反馈),结果发现,与未接受过音乐训练的人相比,接受过音乐训练的人后测 P300 波幅降低更明显,其神经可塑性更强且神经习惯化的脑区分布更靠后^[41]。本研究中,数学学习困难训练组后测 oddball 任务 P300 波幅降低,即出现了明显的神经反应习惯化,而对照组 P300 波幅则没有变化不显著,可能说明“易学灵”系统训练使数学学习困难训练组的神经可塑性得以增强。

对于 P300 潜伏期,一般认为,它是衡量信息加工效率的敏感指标^[30,31,42,43],反映心理加工的时程,在刺激评估加工(反应选择和反应准备之前的所有信息加工过程)之后出现^[32]。大量研究发现,P300 潜伏期随刺激分类难度的增大而增加^[44]。本研究中,数学学习困难训练组在后测时枕区 P300 潜伏期缩短,可能表明被试对靶刺激的评估加工速度更快了,即:训练后训练组在 oddball 任务上对靶刺激的识别、检测、注意等加工明显加快,信息加工效率明显提高。而对对照组的后测 P300 潜伏期较前测没有显著变化,说明“易学灵”系统训练使数学学习困难训练组的信息加工效率得以提高。

另外,本研究的脑电评估结果与训练组数学学习困难学生的自我报告和学习成绩变化一致。训练结束后,被试一致认为“易学灵”系统训练提高了自己的注意力。把被试期中、期末两次考试的数学成绩放在年级水平上进行名次变化比较,发现训练组数学学习困难学生年级名次平均提高 5.6,进步最快的在本年级中前进 99 名^[22]。这些质性资料从另一个角度支持了“易学灵”快乐学习训练对数学学习困难学生的训练效果。

“易学灵”人机对话系统之所以能够提高数学学习困难学生的信息加工容量和信息加工效率,改善其学习成绩,可能与其特有的干预手段有关,它能兼顾数学学习的领域一般性因素和领域特殊性因素。在领域一般性因素方面,“易学灵”系统特别注重脑功能和认知能力的改善,其平衡训练设计通过训练前庭功能来加强大脑两半球的沟通和协作,能够最终改善脑功能与整个认知能力;其视觉、听觉、注意、记忆等人机对话训练模块中,根据各认知领域最经典以及最新的研究成果设计了训练各项认知功能的电脑互动游戏,这也必然能够提高数学学习困难学生的感知觉、注意、记忆、想象等认知能力。在领域特殊性方面,“易学灵”系统能够将数学学习困难学生的身体动作与认知联系在一起,将数学学科知识融入到训练中(例如,让学生一边进行平衡训练一边复述当天学习的内容或进行数

学学习相关的电脑互动游戏),充分发挥了具身认知的作用使数学知识形成具身的心理模拟,有助于提高学习效果。此外,“易学灵”系统温馨舒适的训练环境、轻松愉悦的训练过程以及游戏化生动有趣的训练方式能够帮助数学学习困难学生在精神状态等非智力因素方面取得明显进步^[22],对提高学习效果也起到辅助作用。因此,通过一段时间的持续训练,数学学习困难学生的各方面认知能力得到强化,信息加工容量和效率提高,最终使脑可塑性和脑功能得以增强,学习成绩得到改善。

总之,本研究认为,长期坚持“易学灵”快乐学习系统训练,势必能够提高数学学习困难学生的学习成绩,值得进一步推广使用。

5 结论

本研究使用 ERPs 手段验证了“易学灵”人机对话系统对数学学习困难学生的干预效果——不仅提高了学业成绩,更进一步从脑机制方面揭示出其认知神经系统信息加工能力的改善,即干预后数学学习困难学生的 P300 波幅显著降低,枕区 P300 潜伏期显著缩短,表明该系统能够优化数学学习困难学生的脑功能,尤其能提升信息加工容量和信息加工效率,因而在进行数学学习时调用的注意和认知资源更少,反应速度更快、更准确,学习困难程度更低,学习负担更轻,为破解数学学习困难问题提供了认知神经科学的证据。

由上可见,摆脱数学学习困难,提高数学教学与学习效率,减轻数学学习负担,既要注重优化数学知识的外在行为训练,更要注重优化大脑内在加工机制,只有两者兼顾,才能标本兼治,事半功倍。

参考文献

- 1 Barbaresi W J, Katusic S K, Colligan R C, et al. Math learning disorder: incidence in a population-based birth cohort, 1976 - 82, Rochester, Minn. Ambulatory Pediatrics, 2005, 5(5): 281 - 289
- 2 Parsons S, Bynner J. Numeracy and employment. Education & Training, 1997, 39(2): 43 - 51
- 3 Hibbard J H, Peters E, Dixon A, et al. Consumer competencies and the use of comparative quality Information: it isn't just about literacy. Medical Care Research and Review, 2007, 64(4): 379 - 394
- 4 McCloskey M. In: Berch DB, Mazzocco MMM. Why is math so hard for some children? The nature and origins of children's mathematical learning difficulties and disabilities. Baltimore: Brookes Publishers, 2007
- 5 Woodward J, Ono Y. Mathematics and academic diversity in Japan. Journal of Learning Disabilities,

- 2004 ,37(1) : 74 – 82
- 6 陶金花,袁国桢,程灶火,等. 儿童数学障碍的发病机制、诊断和干预. 中国行为医学科学, 2006 ,15(1) : 88 – 90
- 7 Dehaene S ,Piazza M ,Pinel P ,et al. Three parietal circuits for number processing. *Cognitive neuropsychology* ,2003 ,20(3 – 6) : 487 – 506
- 8 Geary D C. Mathematical disabilities: Cognitive ,neuro-psychological , and genetic components. *Psychological bulletin* ,1993 ,114(2) : 345
- 9 Geary D C ,Hoard M K ,Byrd – Craven J ,et al. Strategy choices in simple and complex addition: Contributions of working memory and counting knowledge for children with mathematical disability. *Journal of experimental child psychology* ,2004 ,88(2) : 121 – 151
- 10 Murphy M M ,Mazzocco M M ,Hanich L B ,et al. Cognitive characteristics of children with mathematics learning disability (MLD) vary as a function of the cut-off criterion used to define MLD. *Journal of Learning Disabilities* ,2007 ,40(5) : 458 – 478
- 11 Mussolin C ,De Volder A ,Grandin C ,et al. Neural correlates of symbolic number comparison in developmental dyscalculia. *Journal of cognitive neuroscience* ,2010 ,22(5) : 860 – 874
- 12 Price G R ,Holloway I ,Rasanen P ,et al. Impaired parietal magnitude processing in developmental dyscalculia. *Current Biology* ,2007 ,17(24) : R1042 – R1043
- 13 Kucian K ,Loenneker T ,Dietrich T ,et al. Impaired neural networks for approximate calculation in dyscalculic children: a functional MRI study. *Behavioral and Brain Functions* ,2006 ,2(31) : 1 – 17
- 14 Isaacs E ,Edmonds C ,Lucas A ,et al. Calculation difficulties in children of very low birthweight. *Brain* ,2001 ,124(9) : 1701 – 1707
- 15 Rotzer S ,Kucian K ,Martin E ,et al. Optimized voxel – based morphometry in children with developmental dyscalculia. *Neuroimage* ,2008 ,39(1) : 417 – 422
- 16 Rykhlevskaia E ,Uddin L Q ,Kondos L ,et al. Neuro-anatomical correlates of developmental dyscalculia: Combined evidence from morphometry and tractography. *Frontiers in Human Neuroscience* ,2009 ,3(3) : 51
- 17 Menon V ,Rivera S ,White C ,et al. Dissociating pre-frontal and parietal cortex activation during arithmetic processing. *Neuroimage* ,2000 ,12(4) : 357 – 365
- 18 Menon V ,Mackenzie K ,Rivera S M ,et al. Prefrontal cortex involvement in processing incorrect arithmetic equations: Evidence from event – related fMRI. *Human Brain Mapping* ,2002 ,16(2) : 119 – 130
- 19 Zago L ,Petit L ,Turbelin M – R ,et al. How verbal and spatial manipulation networks contribute to calculation: An fMRI study. *Neuropsychologia* ,2008 ,46(9) : 2403 – 2414
- 20 向友金,华国栋. 近年来我国数学学习障碍研究述评. *中国特殊教育* ,2008 , (7) : 62 – 67
- 21 官群. 多元干预突破学困 MILD (温情) 教育计划. *中国特殊教育* ,2011 , (9) : 26
- 22 官群,姚茹,刘计敏. 通过“温情教育”(MILD) 促成学困生进步的行动研究——邢台陶行知中学采用“易学灵”突破学困初见成效. *中国特殊教育* ,2013 , (9) : 56 – 62
- 23 张宝安. 多元干预突破学困温情教育计划实践操作系统评介. *中国特殊教育* ,2012 , (3) : 14
- 24 Knight R T. Neural mechanisms of event – related potentials: Evidence from human lesion studies. In: Rohrbaugh JW ,Parasuraman R ,Johnson RJ. Event – related brain potentials: basic issues and applications. New York: Oxford University Press ,1990. 1 – 18
- 25 van Dinteren R ,Arns M ,Jongsma M L ,et al. P300 development across the lifespan: a systematic review and meta – analysis. *PloS one* ,2014 ,9(2) : e87347
- 26 Roman R ,Brázdl M ,Jurák P ,et al. Intracerebral P3 – like waveforms and the length of the stimulus – response interval in a visual oddball paradigm. *Clinical neurophysiology* ,2005 ,116(1) : 160 – 171
- 27 Sutton S ,Braren M ,Zubin J ,et al. Evoked – potential correlates of stimulus uncertainty. *Science* ,1965 ,150 (3700) : 1187 – 1188
- 28 OConnell R G ,Balsters J H ,Kilcullen S M ,et al. A simultaneous ERP/fMRI investigation of the P300 aging effect. *Neurobiology of aging* ,2012 ,33(10) : 2448 – 2461
- 29 Kim K H ,Kim J H ,Yoon J ,et al. Influence of task difficulty on the features of event – related potential during visual oddball task. *Neuroscience letters* ,2008 ,445(2) : 179 – 183
- 30 Chatterjee A ,Ray K ,Panjwani U ,et al. Meditation as an intervention for cognitive disturbances following total sleep deprivation. *The Indian journal of medical research* ,2012 ,136(6) : 1031
- 31 Alonso R ,Schochat E. The efficacy of formal auditory training in children with (central) auditory processing disorder: Behavioral and electrophysiological evaluation. *Brazilian journal of otorhinolaryngology* ,2009 ,75 (5) : 726 – 732
- 32 Kok A. On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology* ,2001 ,38(3) :

- 557 – 577
- 33 Polich J , Kok A. Cognitive and biological determinants of P300: An integrative review. *Biological psychology* , 1995 , 41(2) : 103 – 146
 - 34 Kok A. Internal and external control: a two – factor model of amplitude change of event – related potentials. *Acta psychologica* , 1990 , 74(2) : 213 – 236
 - 35 Johnson R. The amplitude of the P300 component of the event – related potential: Review and synthesis. In: Ackles PK , Jennings JR , Coles MGH. *Advances in psychophysiology*. Greenwich , CT: JAI Press , Inc. , 1988. 69 – 137
 - 36 Kramer A , Spinks J. Capacity views of human information processing. In: Jennings JR , Coles GH. *Handbook of cognitive psychophysiology: Central and autonomic nervous system approaches*. New York: John Wiley and Sons , Ltd , 1991. 179 – 242
 - 37 Isreal J B , Chesney G L , Wickens C D , et al. P300 and tracking difficulty: Evidence for multiple resources in dual task performance. *Psychophysiology* , 1980 , 17(3) : 259 – 273
 - 38 Friedman D , Kazmerski V A , Cycowicz Y M. Effects of aging on the novelty P3 during attend and ignore odd-ball tasks. *Psychophysiology* , 1998 , 35(5) : 508 – 520
 - 39 Atienza M , Cantero J L , Stickgold R. Posttraining sleep enhances automaticity in perceptual discrimination. *Journal of cognitive neuroscience* , 2004 , 16(1) : 53 – 64
 - 40 Uther M , Kujala A , Huottilainen M , et al. Training in Morse code enhances involuntary attentional switching to acoustic frequency: Evidence from ERPs. *Brain research* , 2006 , 1073: 417 – 424
 - 41 Seppänen M , Pesonen A – K , Tervaniemi M. Music training enhances the rapid plasticity of P3a/P3b event – related brain potentials for unattended and attended target sounds. *Attention , Perception , & Psychophysics* , 2012 , 74(3) : 600 – 612
 - 42 Fukuda M , Niwa S I , Hiramatsu K I , et al. Psychological Intervention Can Partly Alter P300 – Amplitude Abnormalities in Schizophrenics. *Psychiatry and Clinical Neurosciences* , 1989 , 43(4) : 633 – 638
 - 43 Kramer A F , Sirevaag E J , Braune R. A psychophysiological assessment of operator workload during simulated flight missions. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* , 1987 , 29(2) : 145 – 160
 - 44 Coles M G H , Smid H G O M , Scheffers M K , et al. Mental chronometry and the study of human information processing. In: Rugg MD , Coles MGH. *Electrophysiology of mind: Event – related potentials and cognition*. Oxford: Oxford university press , 1995. 86 – 131

The Effect of the Man-Machine Dialog System of “Enjoy Learning” on Students with Mathematics Learning Difficulties: Evidence from the Event-Related Potentials P300

YAO Ru ZHANG Chong MENG Wanjin

(Learning Science and Innovation Laboratory , National Institute of Education Sciences , Beijing , 100088)

Abstract Since mathematics learning difficulties affect 6% – 14% of school-age children with normal intelligence , interventions and rehabilitation have become an urgent topic for study. This study , by using a national patent product , the Man-Machine Dialog System of “Enjoy Learning ,” aims to assess the results of a three-month intervention in students with mathematics learning difficulties based on a behavior test and the EEG (electroencephalogram) indicator of the event-related potentials P300. A total of 32 students with mathematics learning difficulties were categorized into two groups: the training group received 30-minute training per day with the Man-Machine Dialog System of “Enjoy Learning ,” whereas the control group did normal learning as usual. Before and after the training , the two groups received an EEG test in a visual oddball task. The results show that the training group revealed a significantly lower P300 amplitude in the post-test than in the pre-test , and a significantly shorter latency in the occipital region , whereas the control group revealed no significant difference in the pre-test and post-test P300 amplitude and latency. This indicates that the Man-Machine Dialog System of “Enjoy Learning” can improve the information-processing capacity and efficiency.

Key words “Enjoy Learning” mathematics learning difficulties brain mechanism P300

(责任编辑: 刘玉娟)