

## 事件相关电位在脑卒中患者中的应用进展

付雨桐, 杨志, 姚黎清

昆明医科大学第二附属医院康复医学部, 云南 昆明 650101

**【摘要】**事件相关电位具有非侵入性、低成本、可广泛获得、高时间分辨率的优点,能够实时反映认知过程的输出,且能在没有行为反应的情况下提供关于刺激处理的测量,被广泛应用于大脑高级皮质功能的研究。现就事件相关电位在脑卒中患者中言语、运动、认知、抑郁、癫痫、昏迷、睡眠障碍这7方面的应用进展做一概述,分析显示事件相关电位在脑卒中后患者多种功能障碍中的应用为脑卒中患者提供了客观的评估数据,从而有效地判断预后,实现精准康复。

**【关键词】**脑卒中;事件相关电位;功能障碍;综述

**【中图分类号】**R395.3;R743.3

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2019)07-0858-06

### Progress on application of event-related potential in stroke patients

FU Yutong, YANG Zhi, YAO Liqing

Department of Rehabilitation Medicine, the Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650101, China

**Abstract:** With the advantages of non-invasive, low-cost, widely available and high time-resolution, event-related potential which can not only realize the real-time reflection of the output of cognitive process, but also provide measurement of stimulation treatment in the absence of behavioral response has been widely used to study the advanced cortical function of the brain. Herein the progress on the application of event-related potential in stroke patients is reviewed from the aspects of speech, exercise, cognition, depression, epilepsy, coma and sleep disorder. The results show that the application of event-related potential in various dysfunctions in stroke patients provides objective evaluation data for stroke patients, thereby effectively judging the prognosis and realizing precision rehabilitation.

**Keywords:** stroke; event-related potential; dysfunction; review

### 前言

脑卒中俗称“中风”,主要包括两类,即缺血性和出血性脑卒中。血管病变是由脑卒中引起的主要脑部疾患,通常指流向大脑的血液突然中断。脑卒中作为全球正努力对抗的人类十大疾病之一,在中国是病死和致残的首要疾病<sup>[1]</sup>,且老年人发病比例高达70%~80%<sup>[2]</sup>,其复发率和死亡率居高不下。脑卒中后患者常伴随不可逆性的神经功能缺陷,可导致躯体、认知和心理等多项功能障碍<sup>[3]</sup>,严重影响患者的生存质量。现有的康复方法效果有限且时间漫

长,此外,在康复过程中大部分医疗机构使用行为学量表进行评估,存在主观因素和行为学量表评估出的相关康复的数据指标局限,会导致一些患者错失康复最佳时间或者过度康复,未按照患者真实功能水平合理选择康复方案情况的同时也会增加经济负担等。应在临床工作中选择标准的、客观的、有说服力的评测手段,如充分利用事件相关电位(Event-Related Potential, ERP)的优势,发挥其在脑卒中后康复中的重要地位。

脑细胞生物电活动是自发、节律变化,并时刻进行的。目前ERP的定义尚存争议,广义上ERP是与某种事件有关的电位。ERP分为内与外两类,受到外部刺激而被动产生的电位称为外源性ERP,由感觉通道的完整性所决定;其他一些事件是被测者主管活动参与辨别某些事物或准备某些行为,称为内源性相关电位,需要感觉通道和内部联系二者完整才可以发生。电位的发生位置可以是周围神经、脑和脊髓,一般所说的ERP指内源性ERP。包含N1、N2、

**【收稿日期】**2019-01-14

**【基金项目】**国家自然科学基金(81760414);云南省康复临床医学中心脑卒中诊疗技术项目;云南省科技计划项目重大科技专项(2018ZF016)

**【作者简介】**付雨桐,在读研究生,研究方向:神经康复,E-mail: 906363-326@qq.com

**【通信作者】**姚黎清,研究方向:神经康复,Email: yaoliqing98731@163.com

P2、P3 (P300)、CVN、失匹配负波 (Mismatched Negativity, MMN) 等成分的一群电位与人的认知相关,其中,P300是研究最多最广的一种内源性成分,在脑内的起源涉及多个系统,有一部分与语言中枢的起源相同。P和N分别表示正走向和负走向峰,数字则表示这个峰在波形中的位置,常用具体的潜伏期表示,如P300也写作P3,表示在300 ms的正峰,而N400同N4,表示在400 ms的负峰。ERP的指标有潜伏期和波幅,电位异常的表现是潜伏期延长或缺失。利用ERP可探究脑的工作原理,甚至可提取脑的高级功能——精神心理的活动信息,可应用在生理学、临床医学等领域。作为无创性的神经生理学检测手段,ERP被越来越多地应用于脑卒中患者的康复中,充分利用ERP内源与外源成分的分析为脑卒中患者功能障碍的诊断、治疗和预测发挥重要作用。本研究将详细介绍在脑卒中患者多种类型功能障碍中,不同ERP成分的应用和临床意义。

## 1 ERP在脑卒中患者多种类型功能障碍中的应用

### 1.1 ERP在脑卒中后失语症中的应用

约67%的脑卒中幸存者存在交流障碍,33%伴有失语症<sup>[4]</sup>,表现为各种语言形式的问题,包括听、说、读、写这4大主要功能缺失,严重阻碍了患者的功能恢复进程和正常生活及既往工作的回归。脑卒中高发于老年人,尤其是65~84岁的老年群体<sup>[5]</sup>,但在年轻人和儿童中也可见。尽管有证据表明脑卒中在某些群体中的发病率在下降<sup>[6]</sup>,但是脑卒中仍然是国际上最主要的致残原因之一<sup>[7]</sup>。

几种不同的内源性成分在失语症中均有应用。一些学者在治疗失语症时,使用ERP记录诱发电位的波幅和潜伏期等重要信息,从而进行诊断、评估、治疗以及预后判断,是临床上有效的神经生理学检测的手段。萧演清等<sup>[8]</sup>使用ERP对脑卒中后失语患者进行治疗前后评估,结果显示有找词障碍及语义损伤患者经治疗后,在400 ms的时间窗存在波幅变化,干预组与语义相关图像显示大脑左右半球之间P100、P300和P500波幅变化不同。也有研究发现P300对失语症的语言认知检测指标敏感,能协助治疗师判断失语症患者理解能力的预后<sup>[9]</sup>,这与其生理学基础是相符的;N400主要应用于失语症中命名能力的诊断与评估,与语义的理解能力关系密切<sup>[10-11]</sup>;在失语症患者中,可以利用MMN帮助定位病灶部位。邢一兰等<sup>[12]</sup>通过随访发现脑卒中后失语患者在发病后2个月失语商明显提高,MMN的波动幅值及其潜伏期比较,差异显著。Ilvonen等<sup>[13]</sup>研究表明脑

卒中后3个月其MMN波幅明显上升,几乎接近正常。MMN可为脑卒中后失语患者的严重程度和自然恢复的时间窗提供参考<sup>[14]</sup>。

### 1.2 ERP在脑卒中后认知功能障碍中的应用

认知功能是了解如何获取和处理信息的一种心理过程,所以被称为认知心理功能。获取信息涉及许多过程,包括听、看、读、搜索信息,或只关注周围的事件。所有情况下,都在使用认知功能来收集信息。认知功能主要包括知觉、注意力、语言、记忆力和执行功能等,这些功能因为脑卒中后中枢神经系统障碍而发生异常,不能相互配合协作处理认知过程,称为认知功能障碍<sup>[15]</sup>。脑卒中患者普遍存在认知功能障碍,超过67%的急性期脑卒中患者中,55.7%的患者在脑卒中后3~6个月内会发生不同程度的认知障碍<sup>[16-17]</sup>。患者的认知功能因发生脑卒中而下降的同时也会提高致残率和死亡率<sup>[18]</sup>,给护理人员带来负担<sup>[19]</sup>。

ERP在认知功能等方面的评估有重要意义。实际上,能够通过神经心理学测试测量的认知功能都可以使用ERP进行评估。使用ERP进行评估的主要优点是除了传统的神经心理学测量方法能提供的信息外,ERP能提供有关于执行给定任务时使用的认知策略的信息。严玉宁等<sup>[20]</sup>发现脑卒中急性期非痴呆型血管性认知工作记忆损害是脑卒中急性期非痴呆型血管性认知障碍患者的主要问题,不同任务水平n-back范式诱发的P300的波幅间和潜伏期间的差异明显,使早期的脑卒中后认知障碍诊断更加客观。脑卒中后常见的认知障碍为单侧空间忽略,经常会不能注意来自对侧的视、听、触等刺激。可通过对患有偏侧忽略的脑卒中患者应用ERP试图探索其空间注意加工的特点,单桂香等<sup>[21]</sup>通过比较脑卒中后右侧空间忽略与正常人的ERP,发现实验组对来自右侧和左侧的靶刺激反应都低于正常组,且N1和P300波幅都有显著差异,而P1并无差异;Martin-Arévalo等<sup>[22]</sup>和Lasaponara等<sup>[23]</sup>的研究发现外源性注意使P1增大,且N1参与空间注意及视觉运动控制。实验中的分析成分都较单一,并不能完全解释单侧忽略患者空间注意的加工方式。有研究表明对脑卒中患者行ERP检测,可将P300作为注意的内源成分,其潜伏期能反映大脑对外部刺激进行分类、编码和识别的速度,是评估大脑认知功能的关键指标;其波幅反映了大脑信息处理期间所调动资源程度、潜伏期均明显延长,波幅降低表明脑卒中后患者在进行认知加工时需要激活神经元的时间变长而数量减少,可以通



过检测 P300 揭示认知功能的恢复<sup>[20]</sup>。外源性成分 P200 的潜伏期延长表示其注意力与短时记忆力下降,可评价患者注意和合作程度;外源性成分 N100 潜伏期增加代表脑卒中患者对刺激的选择和注意能力降低;内源性成分 N200 潜伏期在脑卒中患者中也会有一定程度的延长,代表靶选择的心理过程。

### 1.3 ERP在脑卒中后运动功能障碍中的应用

脑卒中幸存者中约 80% 的患者合并肢体运动功能障碍<sup>[24-25]</sup>,患者永久性残疾发生率达 15%~30%,生活质量受到明显影响<sup>[26]</sup>。当脑卒中主要累及脑深部结构(如基底神经节和丘脑)时,运动障碍是常见的临床表现<sup>[27]</sup>,一些发生在脑皮质的脑卒中中也会存在运动障碍。脑卒中后运动障碍包括运动增加或运动减少,出现肌张力障碍,产生不自主的运动,对患者产生短暂或持久的影响。

临床治疗中对脑卒中后运动功能障碍的干预手段种类繁多,已有研究表明近年来较新颖的康复方式,如镜像治疗、强制运动疗法<sup>[28]</sup>、经颅磁刺激<sup>[29]</sup>、认知-运动双重任务疗法<sup>[30]</sup>等均能产生良好的运动功能恢复效果。同样可以使用 ERP 在脑卒中后运动障碍的患者中通过设计与运动相关的时间,以提取患者相应运动皮层的电位,进而对患者的运动功能进行评估,检测患者的运动功能恢复的进展情况。运动相关电位(Movement-Related Cortical Potential, MRCP)是脑电图记录中出现的一个低频负偏移,反映运动计划和运动准备的皮层过程。MRCP 中第一个事件成分为准备电位,表示运动计划/准备;第二个事件成分为运动监测电位,表示运动表现控制的情况;第三个事件成分为运动电位,反映运动执行。MRCP 振幅可能与运动所需的能量有关,而 MRCP 的启动时间被解释为计划和准备运动所需的时间长度。利用 MRCP 研究运动技能学习的结果表明与初学者相比,熟练的乐器演奏者掌握运动技能的 MRCP 振幅更小,开始时间更晚,这表明掌握运动技能熟练会导致能量需求减少。脑卒中偏瘫肢体运动功能障碍的患者进行运动电位检测的结果与健康人进行对比发现 N2 的潜伏期较健康人更长,波幅较高,MP 峰振幅较大,表明病变半球能量需求增强,需要更多的时间去准备<sup>[31]</sup>。N2 波为运动电位,主要出现在初级运动皮质区、前运动区以及辅助运动皮质区。此外,张军伟等<sup>[32]</sup>对脑卒中偏瘫患者使用下肢机器人,发现实验组下肢肌力与肌张力明显改善的同时,N200、P200 和 P300 的波幅及潜伏期数值差异显著。

### 1.4 ERP在脑卒中后昏迷中的应用

由于医疗技术的发展,脑卒中后患者的存活率显著提高,但是仍然有部分患者的脑干上行网状激

活系统受损或大脑皮质弥漫性受损,导致对外界刺激反应能力下降,从而引起患者昏迷,进入慢性意识障碍状态,这属于严重的意识障碍,昏迷患者的大脑高级神经活动和大脑皮层及皮层下网状系统都处于高度抑制状态<sup>[33]</sup>。

临床中常用格拉斯哥昏迷量表对昏迷患者进行评估,但是格拉斯哥昏迷量表具有一定的局限性和主观性,不能全面准确地预测脑卒中后昏迷患者的意识障碍恢复情况,预后判断存在假阳性的风险较高,对昏迷患者判断预后的作用有限<sup>[34]</sup>。而脑卒中后患者昏迷的时间越长,严重的并发症就会越多,压疮、心肺功能失调、深静脉血栓、泌尿系统感染的机率均会增加,因此越来越多的神经科医生尝试使用 ERP 这种敏感度和特异度较高的神经生理学技术对昏迷患者进行早期评估和预后判断。

N100 和 MMN 不需要患者配合有按键反应,默数靶刺激的数量,主动配合的活动可用于昏迷患者 ERP 检测,从昏迷患者脑电活动中检测出的脑电数据与其昏迷程度密切相关,也可对其进行预后评估,评估的结果与其他检测手段相比,ERP 检测的特异度和敏感度显示出明显的优势<sup>[35-36]</sup>,特异度高达 100%。在对脑卒中后昏迷患者进行 ERP 检测时,其明显的优势在于检测 ERP 的同时可进行其他的感知检测,而且是无创伤性检测,如动态脑电图联合脑干听觉诱发电位等神经心理学方法。ERP 检测出的异常电位相应的头皮区域与大脑功能障碍区对应,在病情进展过程中 ERP 也能够做到实时监测<sup>[37]</sup>。

### 1.5 ERP在脑卒中后癫痫中的应用

癫痫是一种慢性、反复发作性、短暂性脑功能失调综合征,由脑神经元突发异常放电引起,脑卒中后患者的癫痫发作情况会推迟患者出院时间、耗费临床资源并降低患者存活率。10%~15% 的癫痫是由于脑卒中导致的,特别是老年人的癫痫发作<sup>[38]</sup>。

脑卒中后癫痫发作包括两种类型:早发型和迟发型。其中,部分性发作为早发型的主要发作方式,即急性脑卒中发病后 14 d 内初次发作癫痫,其发作高峰为脑卒中后最初 24 h;迟发型以全面强制阵挛为主,指急性脑卒中发病 14 d 后首次出现的癫痫发作,其发作高峰为脑卒中后 6~12 个月。脑卒中后患者反复发作癫痫称为脑卒中后癫痫,其中早发型癫痫比例达 33%,迟发型癫痫占 50%,早发型和迟发型癫痫最终都会进展为脑卒中后癫痫。脑出血和皮质脑卒中的患者易发生癫痫,约 6.93% 的脑卒中患者会发作癫痫<sup>[39]</sup>。

脑卒中后癫痫发病率与脑卒中发生部位存在一

定关系,有研究显示当脑卒中部位发生在皮质时,无论是缺血性还是出血性脑卒中都较容易引发早发型癫痫;累及颞中回或中央后回的心源性脑栓塞易引发早发型癫痫;累及缘上回及颞上回脑梗死易诱发迟发型癫痫发作;男性患者的发病率高于女性患者<sup>[40]</sup>。癫痫患者常伴有记忆力下降、注意力不集中、学习能力减退等多种认知功能的相关障碍,其它部分患者还伴有智能障碍。也有研究发现,癫痫患者P300潜伏期明显延长,其中,全身强直阵挛发作的癫痫患者P300潜伏期延长最明显<sup>[41]</sup>。

### 1.6 ERP在脑卒中后抑郁中的应用

当前在康复治疗中大多关注患者躯体功能的恢复,而心理问题常常会被忽视,常把抑郁作为脑卒中后正常阶段的一个反应,不采取干预,认为随着时间的延长,病情好转,抑郁的情绪自然会消除。脑卒中后抑郁患者临床表现为兴趣较少、睡眠时长短、情绪抑郁、食欲改变等特点,属于情感障碍性疾病。通常发生在脑卒中后2个月至12个月之间。脑卒中病人中抑郁发病率可达20%~79%,重度抑郁占10%左右<sup>[42]</sup>。

抑郁和认知相互作用影响,并同时恶化。这种负性关系严重影响了患者的康复进程。现阶段临床中,把ERP应用到抑郁症发病研究、诊断和治疗中。抑郁症患者的ERP特征通常为波幅下降和内源性成分潜伏期的延长,目前的研究主要针对P3成分进行分析。潜伏期延长代表对刺激初步加工时间变长,抑郁症患者的思维迟缓且反应缓慢。测量结果显示波幅降低,表示抑郁症患者对外界刺激信息的处理能力下降,主要临床表现是注意力不集中以及记忆力下降。有研究表明脑卒中后抑郁患者相较于脑卒中后非抑郁患者,其N200、P300波潜伏期延长,波幅下降( $P<0.01$ )<sup>[43-44]</sup>。ERP的敏感特性有助于脑卒中后抑郁患者在早起以及尚未或仅有较轻的临床症状时提示患者的认知功能损害。司翠平等<sup>[45]</sup>纳入109例急性脑卒中病人,发现急性脑卒中后抑郁患者行ERP检测,主要在PZ位置的视觉P300的波幅有统计学意义,可用于评估脑卒中抑郁患者的认知功能状况。大脑左右半球分别负责不同的情绪管理,负责不同情绪的大脑皮质与其相应皮质下部位协同活动一致。ERP检测时应用负性情绪面孔与正性情绪面孔时,所诱发的N170的潜伏期的时间与波幅的幅值有显著差异且在不同的脑区间存在差异波。

### 1.7 ERP在脑卒中后睡眠中的应用

脑卒中患者在发病后会经历一系列的心理变

化,包括否认、抑郁、焦虑等,这些负性情绪会导致患者常并发睡眠障碍<sup>[36]</sup>,长期较差的睡眠质量会影响患者的认知功能、日常生活质量和康复配合度。睡眠按照分期标准可分为非快速动眼期和快速动眼期,非快速动眼期由浅入深分为4个阶段即S1、S2、S3、S4,临床上常用多导睡眠图来研究睡眠,医生通过对有睡眠障碍的患者进行整夜睡眠记录,分析脑卒中后失眠患者的相关睡眠参数,从而反映认知、睡眠和自主神经功能状态信息。同时可配合使用ERP检测脑卒中后患者由睡眠障碍导致的认知下降,抑郁情绪。MMN是在被试处于相同刺激的重复序列时,因偶然出现不匹配刺激时所观察到的一种波,这种不匹配刺激会诱发出一个负走向波。当患者处于昏迷或睡眠的情况下,不能主动配合时,可以进行听觉ERP检测,听觉中枢对声音可自动检测。睡眠时可检测发现随着声音的改变,MMN的波幅和潜伏期相应改变,MMN为大脑对感觉信息自动加工的电生理测量指标。

## 2 总结与展望

脑卒中后的功能障碍是亟需解决的重要难题,患者的生物-心理-社会功能都需要关注,无论哪一个功能失调都会影响患者的生存质量,各种康复治疗的手段的效果需要利用精准的仪器和客观的数据进行评估。临床常用量表对患者的认知功能、运动功能、抑郁情况等进行评估,判断恢复情况,但是量表有一定的主观性,而ERP能进行无创性的神经生理检测,实现快速、便捷、实时进行脑电数据的记录,可在临床中广泛应用。

ERP能快速地对脑卒中后患者认知、运动、心理功能的状况进行检测,但其研究尚处于起始阶段,ERP不同成分在临床解释尚无统一标准范式,且空间分辨率低,在未来的应用中可以配合其他影像学手段(如fMRI)与其空间分辨率高的特性互补使用及联合应用弥散张量成像同时揭示其白质的结构成像变化特点。本文所述大部分的研究是P300在脑卒中的应用,ERP其他成分的作用有些尚不明晰,未来可对其继续进行探索。现有研究大多记录波幅和潜伏期的数据,对于脑功能溯源定位以及地形图分析还需多导联ERP实验精准分析。深入开展ERP在脑卒中后患者多种功能障碍中的应用情况,为脑卒中患者提供精准和客观的评估数据,从而有效地判断预后,实现精准康复。未来的研究将使ERP的应用更完善、具体、科学,发挥更重要的临床指导作用。



## 【参考文献】

- [1] 张润华, 刘改芬, 潘岳松, 等. 世界卒中流行趋势概况[J]. 中国卒中杂志, 2014, 9(9): 768-773.  
ZHANG R H, LIU G F, PAN Y S, et al. Epidemiology of stroke in the world[J]. Chinese Journal of Stroke, 2014, 9(9): 768-773.
- [2] LO COCO D, LOPEZ G, CORRAO S. Cognitive impairment and stroke in elderly patients[J]. Vasc Health Risk Manag, 2016, 12: 105-116.
- [3] 国家心血管病中心. 中国心血管病报告2015[R]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2015: 77.  
National Cardiovascular Center. China cardiovascular disease report 2015[R]. Beijing: Encyclopedia of China Publishing House, 2015: 77.
- [4] ROHDE A, WORRALL L, LE DORZE G. Systematic review of the quality of clinical guidelines for aphasia in stroke management[J]. J Eval Clin Pract, 2013, 19(6): 994-1003.
- [5] National Stroke Foundation. National stroke audit-acute services clinical audit report[R]. Melbourne, 2013.
- [6] ZAHURANEC D B, LISABETH L D, SA'NCHEZ B N, et al. Intracerebral hemorrhage mortality is not changing despite declining incidence[J]. Neurology, 2014, 82(24): 2180-2186.
- [7] KRISHNAMURTHI R V, MORAN A E, FEIGIN V L, et al. Stroke prevalence, mortality and disability-adjusted life years in adults aged 20-64 years in 1990-2013: data from the Global Burden of Disease 2013 Study[J]. Neuroepidemiology, 2015, 45(3): 190-202.
- [8] 萧演清, 汪洁, 张大华, 等. 不同言语加工水平受损的汉语失语症患者治疗前后的事件相关电位变化[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(1): 53-58.  
XIAO Y Q, WANG J, ZHANG D H, et al. Changes of abnormal ERPs patterns before and after treatment for aphasia with different impaired encoding process during word production [J]. China Journal of Rehabilitation Medicine, 2017, 32(1): 53-58.
- [9] 黄幸, 韦宇飞, 常静玲. 事件相关电位不同内源成分在脑卒中后失语评价中的应用[J]. 中国康复理论与实践, 2016, 22(7): 863-866.  
HUANG X, WEI Y F, CHANG J L. Endogenous components of event-related potential used in evaluation for post-stroke aphasia[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice, 2016, 22(7): 863-866.
- [10] KHACHATRYAN E, DE LETTER M, VANHOOF G, et al. Sentence context prevails over word association in aphasia patients with spared comprehension: evidence from N400 event-related potential[J]. Front Hum Neurosci, 2016, 10: 684.
- [11] 贾建平. 中国痴呆与认知障碍诊治指南[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2010.  
JIA J P. Guidelines for the diagnosis and treatment of dementia and cognitive impairment in China [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2010.
- [12] 邢一兰, 吴宏, 胡欢, 等. 失匹配负波评估卒中后失语自然恢复的价值研究[J]. 中国全科医学, 2018, 21(5): 535-539.  
XING Y L, WU H, HU H, et al. Value of mismatch negativity for predicting spontaneous recovery in post-stroke aphasia[J]. Chinese General Practice, 2018, 21(5): 535-539.
- [13] ILVONEN T M, KUJALA T, KIESILÄINEN A, et al. Auditory discrimination after left-hemisphere stroke: a mismatch negativity follow-up study[J]. Stroke, 2003, 34(7): 1746-1751.
- [14] AERTS A, VAN MIERLO P, HARTSUIKER R J, et al. Neurophysiological sensitivity for impaired phonological processing in the acute stage of aphasia[J]. Brain Lang, 2015(149): 84-96.
- [15] NYS G M, VAN ZANDVOORT M J, DE KORT P L, et al. Restrictions of the mini-mental state examination in acute stroke[J]. Arch Clin Neuropsychol, 2005, 20(5): 623-629.
- [16] DONG Y, VENKETASUBRAMANIAN N, CHAN B P, et al. Brief screening tests during acute admission in patients with mild stroke are predictive of vascular cognitive impairment 3-6 months after stroke [J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 2012, 83(6): 580-585.
- [17] PASQUINI M, LEYS D, ROUSSEAUX M, et al. Influence of cognitive impairment on the institutionalisation rate 3 years after a stroke[J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 2007, 78(1): 56-59.
- [18] PENDLEBURY S T, CUTHBERTSON F C, WELCH S J, et al. Underestimation of cognitive impairment by mini-mental state examination *versus* the Montreal cognitive assessment in patients with transient ischemic attack and stroke: a population-based study[J]. Stroke, 2010, 41(6): 1290-1293.
- [19] 王小玉, 张干, 苗青. 事件相关电位P300在神经疾病伴认知功能障碍中的应用进展[J]. 安徽医学, 2018, 39(5): 622-624.  
WANG X Y, ZHANG G, MIAO Q. Progress in the application of event-related potential P300 in neurological diseases with cognitive dysfunction [J]. Anhui Medical Journal, 2018, 39(5): 622-624.
- [20] 严玉宁, 李亚健, 魏文石. 卒中急性期非痴呆型血管性认知障碍患者工作记忆的事件相关电位特征研究[J]. 老年医学与保健, 2015, 21(3): 144-146.  
YAN Y N, LI Y J, WEI W S. Working memory deficits in post stroke-vascular cognitive impairment no dementia during the acute stroke phase: an ERP study[J]. Geriatrics & Health Care, 2015, 21(3): 144-146.
- [21] 单桂香, 刘霖, 叶琳琳, 等. 卒中后单侧空间忽略患者的空间注意加工特点分析[J]. 中国脑血管病杂志, 2018, 15(6): 287-292.  
SHAN G X, LIU L, YE L L, et al. Analysis of spatial attention processing characteristics in patients with unilateral spatial neglect after stroke[J]. Chinese Journal of Cerebrovascular Diseases, 2018, 15(6): 287-292.
- [22] MARTIN-ARÉVALO E, LAUBE I, KOUN E, et al. Prism adaptation alters electrophysiological markers of attentional processes in the healthy brain[J]. J Neurosci, 2016, 36(3): 1019-1030.
- [23] LASAPONARA S, D' ONOFRIO M, DRAGONE A A, et al. Changes in predictive cuing modulate the hemispheric distribution of the P1 inhibitory response to attentional targets[J]. Neuropsychologia, 2017, 99: 156-164.
- [24] 杜鹃. 基于多模态功能磁共振的重复经颅磁刺激促进脑卒中运动功能恢复的作用机制研究[D]. 上海: 第二军医大学, 2017.  
DU J. Study on the mechanism of repetitive transcranial magnetic stimulation based on multimodal functional magnetic resonance to promote motor function recovery in stroke[D]. Shanghai: the Second Military Medical University, 2017.
- [25] CHARALAMBOUS C C, BOWDEN M G, ADKINS D L. Motor cortex and motor cortical interhemispheric communication in walking after stroke: the roles of transcranial magnetic stimulation and animal models in our current and future understanding [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2016, 30(1): 94-102.
- [26] BASHIR S, VERNET M, NAJIB U, et al. Enhanced motor function and its neurophysiological correlates after navigated low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation over the contralesional motor cortex in stroke[J]. Restor Neurol Neurosci, 2016, 34(4): 677-689.
- [27] PARK J. Movement disorders following cerebrovascular lesion in the basal ganglia circuit[J]. J Mov Disord, 2016, 9(2): 71-79.
- [28] 张朝霞, 麦王向, 叶正茂, 等. 运动反馈训练联合改良强制运动疗法对脑卒中上肢功能的影响[J]. 中国医学创新, 2016, 13(3): 38-41.  
ZHANG Z X, MAI W X, YE Z M, et al. The effect of motor feedback training combined with constraint-induced movement therapy on upper extremities function of patients after stroke [J]. Medical

- Innovation of China, 2016, 13(3): 38-41.
- [29] 张仲锦, 张昆, 张鑫, 等. 经颅磁刺激治疗脑卒中后患者肢体运动功能障碍的疗效[J]. 现代仪器与医疗, 2018, 24(4): 73-75.
- ZHANG Z J, ZHANG K, ZHANG X, et al. Therapeutic effect of transcranial magnetic stimulation on limb motor dysfunction in patients with stroke[J]. Modern Instrument & Medical Treatment, 2018, 24(4): 73-75.
- [30] 付雨桐, 杨志, 姚黎清. DTI评价双任务中脑结构与执行功能关系[J]. 中国医学创新, 2018, 15(25): 138-141.
- FU Y T, YANG Z, YAO L Q. DTI evaluation of the relationship between brain structure and executive function in dual-task[J]. Medical Innovation of China, 2018, 15(25): 138-141.
- [31] 吴永刚, 魏燕芳, 戴双燕, 等. 基于ERP探讨头针不同区域治疗脑卒中瘫痪的特异性研究[J]. 针灸临床杂志, 2017, 33(9): 1-5.
- WU Y G, WEI Y F, DAI S Y, et al. Specificity study of scalp acupuncture on different areas for stroke paralysis based on ERP[J]. Journal of Clinical Acupuncture and Moxibustion, 2017, 33(9): 1-5.
- [32] 张军伟, 杨颖, 郝正玮, 等. 下肢康复训练机器人对脑梗死偏瘫患者肌力肌张力与P300的影响[J]. 中国老年学杂志, 2016, 36(7): 1693-1695.
- ZHANG J W, YANG Y, HAO Z W, et al. Effects of lower limb rehabilitation training robot on muscle tone and P300 in hemiplegic patients with cerebral infarction[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2016, 36(7): 1693-1695.
- [33] 王森, 刘祎菲, 宿英英, 等. 体感诱发电位联合事件相关电位预测昏迷患者预后[J]. 中华神经科杂志, 2015, 48(3): 197-202.
- WANG M, LIU W F, SU Y Y, et al. Predicting the prognosis for comatose patients: somatosensory evoked potentials combined with event-related potentials[J]. Chinese Journal of Neurology, 2015, 48(3): 197-202.
- [34] RODRIGUEZ R A, BUSSIÈRE M, FROESCHL M, et al. Auditory-evoked potentials during coma: do they improve our prediction of awakening in comatose patients?[J]. J Crit Care, 2014, 29(1): 93-100.
- [35] DENTICO D, CHEUNG B L, CHANG J Y, et al. Reversal of cortical information flow during visual imagery as compared to visual perception[J]. Neuroimage, 2014, 100(10): 237-243.
- [36] 朴虎男, 朴莲荀, 杜婷婷. BAEP、BR及MEP联合检测在脑死亡诊断中的应用[J]. 山东医药, 2012, 52(47): 16-17.
- PIAO H N, PIAO L X, DU T T. Application of BAEP, BR and MEP combined detection for the diagnosis of brain death[J]. Shandong Medical Journal, 2012, 52(47): 16-17.
- [37] 郑江环. 事件相关电位, 动态脑电图联合脑干听觉诱发电位对昏迷患者预后的评估价值[J]. 中国老年学杂志, 2017, 37(3): 627-629.
- ZHENG J H. The value of event-related potential, dynamic EEG combined with brainstem auditory evoked potential in the prognosis of patients with coma[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2017, 37(3): 627-629.
- [38] CHUNG J M. Seizures in the acute stroke setting[J]. Neurol Res, 2014, 36(5): 403-406.
- [39] MIYAJI Z M, YOKOYAMA M, KAWABATA Z, et al. Arterial spin-labeling magnetic resonance imaging for diagnosis of late seizure after stroke[J]. J Neurol Sci, 2014, 339(1/2): 87-90.
- [40] CHEUNG C M, AU-YEUNG T M. Epileptic seizure after stroke in Chinese patients[J]. J Neurol, 2003, 250(7): 839-843.
- [41] 黄婷婷, 储照虎. 卒中后癫痫发作和卒中后癫痫[J]. 国际脑血管杂志, 2017, 25(2): 160-164.
- HUANG T T, CHU Z H. Post-stroke seizure and post-stroke epilepsy[J]. International Journal of Cerebrovascular Diseases, 2017, 25(2): 160-164.
- [42] 王庆庆, 彭伟, 齐向华, 等. 中医药治疗脑卒中后抑郁现状研究[J]. 光明中医, 2016, 31(15): 2293-2297.
- WANG Q Q, PENG W, QI X H, et al. Study on the current situation of Chinese medicine in treating post stroke depression[J]. Guangming Journal of Chinese Medicine, 2016, 31(15): 2293-2297.
- [43] 宋景贵, 张朝辉, 穆俊林, 等. 脑卒中后抑郁患者探究性眼动与事件相关电位的研究[J]. 临床神经病学杂志, 2009, 22(4): 302-304.
- SONG J G, ZHANG Z H, MU J L, et al. Study of exploratory eye movement and event-related potential in patients with post-stroke depression[J]. Journal of Clinical Neurology, 2009, 22(4): 302-304.
- [44] 孙晶. 老年脑卒中后抑郁患者血清TNF- $\alpha$ 和IL-23的表达及意义[J]. 中国老年学杂志, 2013, 33(8): 1869-1870.
- SUN J. Expression and significance of serum TNF- $\alpha$  and IL-23 in elderly patients with post-stroke depression[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2013, 33(8): 1869-1870.
- [45] 司翠平, 靳真真, 汪孟然, 等. 急性脑卒中后抑郁对视觉随意注意影响的事件相关电位研究[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2018, 20(12): 1245-1247.
- SI C P, JIN Z Z, WANG M R, et al. Application of event-related potential in assessing the effect of acute poststroke depression on visual voluntary attention[J]. Chinese Journal of Geriatric Heart Brain and Vessel Diseases, 2018, 20(12): 1245-1247.

(编辑:谭斯允)