

脊髓损伤实验动物模型评价：诱发电位的应用与研究进展

王雪菲¹, 张军卫^{1, 2} (¹首都医科大学康复医学院, 北京市 100068; ²中国康复研究中心北京博爱医院脊柱外科, 北京市 100068)

文章亮点:

- 1 此问题的已知信息: 脊髓损伤带来的伤害巨大, 且目前无完全治愈手段。许多学者通过开展动物模型进行深入研究。脊髓损伤的辅助检查除了影像学以外, 神经电生理检测也应用较多。
- 2 文章增加的新信息: 文章的新观点在于, 对前人关于诱发电位在兔脊髓损伤中的应用做了全面总结, 详细阐述了体感诱发电位与运动诱发电位在动物实验中的操作方法、波形分析、应用价值、影响因素及诱发电位与动物预后功能评价。
- 3 临床应用的意义: 目前关于神经电生理技术在脊髓损伤方面的检测作用, 一是用来辅助诊断和判断预后, 推测脊髓损伤的程度及患者将来的功能水平; 二是脊髓及神经相关手术的术中检测, 起到及时保护的作用, 避免不必要的神经损伤。

关键词:

实验动物; 组织工程; 脊髓损伤; 诱发电位; 体感诱发电位; 运动诱发电位; 动物模型

主题词:

脊髓损伤; 诱发电位; 诱发电位, 运动; 诱发电位, 躯体感觉

基金资助:

首都卫生发展科研专项基金(2009-2096)

摘要

背景: 随着工业社会的发展和交通的发达, 脊髓损伤的发病率也逐年升高。脊髓损伤的辅助检查手段除了影像学以外, 神经电生理技术的应用也越来越广泛。其中诱发电位因其准确率高、操作简便应用较多。

目的: 综述躯体感觉诱发电位及运动诱发电位在兔脊髓损伤中的应用情况。

方法: 通过检索中国知网、PubMed 数据库, 输入“脊髓损伤, 诱发电位, 动物模型, Spinal cord injury, evoked potential, animal model”等关键词进行检索, 最终纳入文章 33 篇进入结果分析。

结果与结论: 详细阐述了体感诱发电位与运动诱发电位在动物实验中的操作方法、波形分析、应用价值、影响因素及诱发电位与动物预后功能评价。其中体感诱发电位是反应脊髓后索功能的很好指标, 操作简便, 对检测患者感觉功能的变化有很好的指导作用。运动诱发电位能为各种脊髓疾病提供敏感而精确的诊断, 尤其在患者治疗和康复期间可作为重要的评估手段。而两者连用效果更精确。

王雪菲, 张军卫. 脊髓损伤实验动物模型评价: 诱发电位的应用与研究进展[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(49):8026-8030.

Animal models of spinal cord injury: application and research progress of evoked potentials

Wang Xue-fei¹, Zhang Jun-wei^{1, 2} (¹Capital Medical University School of Rehabilitation Medicine, Beijing 100068, China; ²Beijing Bo'ai Hospital, China Rehabilitation Research Center, Beijing 100068, China)

Abstract

BACKGROUND: With the development of industrial society and traffic, the incidence of spinal cord injury has gradually increased. In addition to radiological laboratory examinations, the neurophysiological test also becomes an effective way of auxiliary examination. Due to the high accuracy and easy operating, neurophysiological test is widely used and the evoked potentials play a role in this project.

OBJECTIVE: To summarize the application of somatosensory evoked potentials and motor evoked potentials in rabbits of spinal cord injury.

METHODS: A computer-based online research of CNKI and PubMed databases was performed with the key words of “spinal cord injury; evoked potentials; animal models” in Chinese and English. Finally 33 articles were included in the analysis according to the inclusion and exclusion criteria.

RESULTS AND CONCLUSION: The operational approach, waveform analysis, application value, influencing factor of somatosensory evoked potentials and motor evoked potentials were determined in details, the correlation between evoked potentials and prognosis assessment in animals was also detected. Somatosensory evoked potentials is a good indicator for the evaluation of dorsal funiculus of spinal cord, it is easy to operate and reflects the changes of sensory functions. Motor evoked potentials can provide sensitive diagnosis of spinal cord diseases, and they will be used as a means to assess the spinal cord injury during rehabilitation. The combination of the two can provide a more accurate result.

王雪菲, 女, 1988 年生, 山东省青州市人, 汉族, 首都医科大学康复医学院在读硕士, 主要从事脊柱脊髓损伤康复的研究。

通讯作者: 张军卫, 中国康复研究中心北京博爱医院脊柱外科, 北京市 100068

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2014.49.027
[http://www.crter.org]

中图分类号:R318

文献标识码:A

文章编号:2095-4344

(2014)49-08026-05

稿件接受: 2014-09-13

Wang Xue-fei, Studying for master's degree, Capital Medical University School of Rehabilitation Medicine, Beijing 100068, China

Corresponding author: Zhang Jun-wei, Beijing Boai Hospital, China Rehabilitation Research Center, Beijing 100068, China

Accepted: 2014-09-13

Subject headings: spinal cord injuries; evoked potentials; evoked potentials, motor; evoked potentials, somatosensory

Funding: Special Fund for Beijing Municipal Health Development, No. 2009-2096

Wang XF, Zhang JW. Animal models of spinal cord injury: application and research progress of evoked potentials. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2014;18(49):8026-8030.

0 引言 Introduction

脊髓损伤是一种毁灭性的损伤,它给患者的工作、家庭和社会生活带来重大改变^[1],且脊髓损伤带给患者并发症较多,包括呼吸系统并发症^[2]、泌尿系统并发症、压疮、痉挛、疼痛等^[3]。脊髓损伤的治疗也面临着巨大挑战,目前仍无理想的治疗方法^[4]。现在,很多学者开展了关于脊髓损伤的动物实验研究,研究其发生机制及治疗、康复手段。在动物实验过程中,从验证脊髓损伤的产生,到实时监测脊髓损伤的进展程度,再到脊髓损伤后预后判断、功能评估,都离不开辅助检查。就临床脊髓损伤的辅助检查手段来说,目前以MRI居多,但脊髓损伤仅靠临床体检及CT、MRI等检查,有时难以准确地判断脊髓的神经功能及预后情况。而且,MRI检查费用较高,特别是做批量动物实验时,更是不好实施。因此,有必要找到一种检测手段,既能实时检测脊髓损伤状况,重复检测,又能判断预后功能的一种方式。

王新家等^[5]在诱发电位的改变与脊髓受压程度实验中发现,脊髓的电生理变化与脊髓病理变化相一致,且他们认为,神经诱发电位检查可以作为反映脊髓受压损伤程度的参考指标。诱发电位检查是一项能为临床提供直接了解和评定脊髓神经功能情况的辅助检查方法^[6]。且目前神经电生理技术应用越来越广泛,不仅在动物实验中发挥作用,而且也应用于临床中神经病变的诊断、术中实时检测等。

目前关于诱发电位在动物脊髓损伤中应用相关文献较多,但以大鼠为主,就兔相关总结类文章而言却报道较少。因此,作者通过检索相关文献,总结诱发电位在兔脊髓损伤中的作用。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源 由作者检索 CNKI 数据库 (<http://www.cnki.net/1Index.asp>) 和 PubMed 数据库 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>) 的相关文献。中文检索词为“脊髓损伤; 诱发电位; 动物模型”; 英文检索词为“spinal cord injury; evoked potentials; animal models”。检索时间范围: 1990年1月至2014年4月。文献包括综述、临床研究和基础研究,最终纳入文章33篇。

1.2 入选标准

纳入标准: ①与神经电生理应用有关的文章。②与

脊髓损伤动物模型制作有关的文章。③与诱发电位有关的文章。④同一或相似内容选择近期发表或权威期刊发表的文章。

排除标准: 重复或类似的同一研究。

1.3 资料提取与文献质量评价 共检索到相关文献322篇,其中英文291篇,中文31篇。阅读标题和摘要进行初筛,排除与研究目的不符和重复性文章; 查阅全文,判断与纳入标准一致的文章,最后选择33篇符合标准的文献。

2 结果 Results

2.1 诱发电位(evoked potential, EP) 诱发电位是指对神经系统某一特定部位(包括从外周感受器到脊髓、大脑皮质或从大脑皮质到外周神经)给以相宜的刺激,在相应部位产生可以检出的、与刺激有相对固定时间间隔(锁时关系)和特定定位的生物电反应。诱发电位具有空间、时间和相位特征,即必须在特定的部位才能检测出来,各种诱发电位都有其特定的波形和电位分布; 诱发电位的潜伏期与刺激之间有较严格的锁时关系; 诱发电位是在给予刺激时,几乎可立即或在一定时间内瞬时出现的,反映了神经系统的功能和结构状态,并与复杂的心理、生理因素相关^[7]。

诱发电位分为外源性刺激相关电位(stimulus related potential, SRP), 内源性事件相关电位(event related potential, ERP)。其中, 外源性刺激相关电位又包括感觉诱发电位(sensory evoked potentials, SEP)和运动诱发电位(motion evoked potential, MEP)。感觉诱发电位包括视觉诱发电位、听觉诱发电位和体感诱发电位(somatosensory evoked potential, SEP); 在脊髓和大脑皮质体感区所记录的体感诱发电位分别称为脊髓诱发电位(spinal cord evoked potential, SCEP)和皮质体感诱发电位(cortical somatosensory evoked potential, CSEP)^[7]。

很早的时候, Machida等^[8]就发现运动诱发电位和体感诱发电位诊断脊髓损伤的准确率分别为92.8%和91.3%。汤继文等^[9]在实验性急性脊髓损伤中发现: 随着脊髓压迫时间的延长, 损伤程度的加重, 不管是体感诱发电位, 还是运动诱发电位, 潜伏期逐步延长, 波幅逐步减小。通过诱发电位检查, 能很好的判断脊髓损伤程度, 对于不完全性脊髓损伤, 体感诱发电位、运动诱发电位潜伏期越长, 波幅越低, 脊髓损伤就越严重。因此,

诱发电位的检查对脊髓损伤的诊断准确率是较高的, 能很好的反应损伤的程度。本文以免为脊髓损伤模型, 阐述体感诱发电位和运动诱发电位在此模型中的应用。

2.1.1 躯体感觉诱发电位(SEP)

定义: 体感诱发电位是中枢神经系统在感觉外在或内在刺激过程中产生的生物电活动^[10], 是躯体感觉神经受到刺激后在其传导通路和大脑皮质感觉中枢产生的变化, 在神经干脊髓和大脑皮质所记录的分别称为脊髓诱发电位和皮质体感诱发电位, 沿本体感觉通路有髓纤维传导包括神经节薄楔束核和三级神经元, 主要反映本体感觉通路的结构和功能状况^[11-12]。体感诱发电位异常程度与病情轻重呈正相关^[13]。实验性脊髓损伤一般都是观察下肢功能变化, 损伤节段以胸腰段和腰段比较多, 所以测皮质体感诱发电位时记录电极多置于大脑皮质感觉区域, 而刺激电极多选用对侧下肢坐骨神经或者胫后神经^[14]。一般情况下常用的刺激形式是电刺激, 刺激的强度是以引起下肢的轻微抖动为宜^[15]。

操作方法: 用30 g/L戊巴比妥钠按1 mL/kg耳缘静脉麻醉成功后, 固定兔子于固定板上, 叉状刺激电极放在后肢跟腱内上方, 针式记录电极放在两耳之间的矢状缝处, 参考电极接兔子鼻尖部, 前肢接地。以电压脉冲的方式刺激胫后神经, 波宽0.2 ms, 频率为2 Hz, 强度以刺激侧后足轻微抖动为准, 2.0-3.0 mA, 分析时间为20 ms, 平均检测100-120次, 对比、分析其结果^[16]。

波形分析: 皮质体感诱发电位由一系列不同潜时的波构成, 其中正相波为P, 而负相波为N^[14]。裴少保等^[16]在研究体感诱发电位评价家兔脊髓冲击伤模型的神经机能变化中, 通过刺激正常家兔胫后神经, 在颅顶可记录到“S”形的体感诱发电位波形, 基本波形为“N-P-N”形, 其P波较大且稳定, 所以他们采用记录P波的潜伏期和波幅。观测到不同的冲击波压力家兔脊髓冲击伤模型在12 h后P波的峰潜伏期均分别较正常的家兔P波的潜伏期延长和波峰明显降低, 各组间潜伏期和波幅差异有显著性意义。

波潜伏期直接反映中枢白质电传导速度, 而波峰峰值直接反映中枢灰质的电兴奋, 间接反映脊髓氧耗和血流^[16]。体感诱发电位检测观察了神经系统的整个躯体感觉通路, 记录电极可循周围神经、神经干、神经丛、脊髓及皮质获得不同的神经兴奋电位, 故能较全面反映该通路的完整性和功能性。而脊髓感觉区与前角运动区很接近, 又都能被蛛网膜所包绕, 故通过体感诱发电位检查可判断脊髓损害与否及损害程度。可以根据刺激躯体感觉通路间接了解前索情况, 从而间接判断运动功能的受损程度^[17]。体感诱发电位是反应脊髓后索功能的很好指标, 操作简便, 对检测患者感觉功能的变化有很好的

指导作用^[18]。虽然体感诱发电位对各种脊髓冲击伤有较好的诊断价值, 但体感诱发电位不能提供充分的定位诊断结论^[16]。

2.1.2 运动诱发电位(MEP)

定义: 运动诱发电位是指用电或磁刺激中枢神经组织并在脊髓远端、外周神经或肌肉记录到的电信号, 能直接反应脊髓下行传导束或外周运动神经的功能状态^[19]。肌肉运动诱发电位的产生需要脊髓前角, 皮质脊髓束的电冲动决定脊髓前角放电, 因此肌电反应的产生与皮质脊髓束的电传导有密切关系^[20]。

操作方法: ①刺激电极: 刺激器接出银盘电极负极置于鼻根与枕骨粗隆连线的中点向左侧旁开2 cm(相当于人体C₁处), 刺激器接出银盘电极正极置于两侧外耳孔连线右侧的3/4处(相当于人体C₄处)^[21]。采用直流电方波刺激, 波宽300 μs, 单串刺激, 每串包括2次刺激, 串频率250 Hz, 刺激强度30 mA。②地线电极: 用针电极置于右侧颈部皮下。记录电极(针电极)置于双后肢股四头肌肌腹, 参考电极置于双下肢大腿皮下。记录从刺激电极到第一个波波峰的时长Lm为潜伏期, 第一个波波峰和波谷的高度Am为波幅。滤波3-500 Hz, 抗干扰50 Hz^[20]。

波形分析: 兔正常的运动诱发电位波形通常包括2个正向波峰(P1, P2)和1个负向波峰N1^[22]。吕飞舟等^[22]发现, 兔脊髓急性打击后, 其潜伏期的变化往往不明显, 主要表现为波幅的改变。轻度打击后即刻, 运动诱发电位有短暂的消失, 随后很快恢复运动诱发电位波形, 但其波幅明显小于伤前水平, 在30 min内, 波幅明显增高, 但仍无法达到伤前水平, 24 h后运动诱发电位接近于伤前水平, 下肢肌力在IV级以上。中度打击后运动诱发电位波形即刻消失, 随后逐渐恢复运动诱发电位波形, 波幅也逐渐增大, 但无法达到伤前水平, 24 h后运动诱发电位波形的波幅仍然较低, 与伤前水平有较大差距, 下肢肌力II-III级。重度打击组中, 所有动物运动诱发电位在伤后即刻、30 min及24 h后均消失, 无法引出运动诱发电位, 下肢肌力0级。汤继文等^[9]也发现, 在急性脊髓损伤时, 波幅变化比潜伏期变化更加灵敏, 更能准确提示脊髓功能损伤。潜伏期变化晚于波幅是因为脊髓损伤急性期病理改变以灰、白质的出血、坏死为主, 髓鞘对缺血耐受性强于胞体, 而残存轴索还未来得及完成脱髓鞘等退行性病理变化过程, 因此神经冲动仍能以近似正常的速度向远端传递。Lee等^[23]认为, 波幅的改变要比潜伏期的改变敏感, 而且他认为, 如果运动诱发电位波幅低于对照2/3的话, 可能造成不可逆的损伤。而Glassman等^[24]认为, 潜伏期延长超过10%可能更有意义。Mao等^[25]在实验性家兔脊髓损伤后肢运动功能与肌肉运动诱发电位的关系中发现, 脊髓受到外伤打击后术中运动诱发电位表现是出

现或消失, 即“有或无”, 并与伤后实验兔后肢运动功能状态相关。伤后4周实验兔的后肢运动诱发电位潜伏期延长程度与肌力下降呈线性相关, 但其波幅与伤后肌力变化无关。并认为, 可以通过运动诱发电位的“有或无”作为判断脊髓损伤程度的指标。

综上所述, 在急性脊髓损伤时, 运动诱发电位的波幅要比潜伏期变化更早、更灵敏, 且运动诱发电位的异常程度与肢体功能状态呈正相关。Nardone等^[26]认为, 运动诱发电位能为各种脊髓疾病提供敏感而精确的诊断, 在患者治疗和康复期间, 运动诱发电位可作为评估的手段。

2.1.3 体感诱发电位与运动诱发电位的联合应用 体感诱发电位主要经背柱、脊髓小脑束及脊髓丘脑束共同传导, 它们位于脊髓的后索和后外侧索, 而运动功能主要沿皮质脊髓束、红核脊髓束和网状脊髓束传导。位于脊髓的前索和前外侧索且与后索和后外侧索有着不同的血液供应方式, 当脊髓后索与前外侧索损伤不一致时, 体感诱发电位与运动诱发电位的结果不尽相同^[27]。体感诱发电位与运动诱发电位分别反映脊髓薄、楔束和锥体束的传导功能, 薄、楔束位于脊髓后索, 而锥体束位于脊髓前索和前外侧索, 二者的血供来源也不同。这正是用体感诱发电位监测肢体运动功能时出现假阴性结果的解剖学基础^[9]。

汤继文等^[9]认为, 全面而准确地监测脊髓功能, 尤其是监测脊髓运动功能时, 应该同时使用体感诱发电位与运动诱发电位两种检测方法, 提高诱发电位监测的准确性。田伟等^[28]也发现, 体感诱发电位与运动诱发电位的主要神经传导通路分别对应于脊髓腹侧和背侧部分, 即体感诱发电位主要沿着脊髓背侧上行通路传导, 而运动诱发电位只沿着脊髓腹侧下行通路传导, 如果二者联合应用, 无疑可以相互补充, 能更全面地评价脊髓功能的状况。目前, 体感诱发电位与运动诱发电位的联合应用广泛见于外科手术的术中监护。2012年Li等^[29]做了一项颈椎手术的术中监护回顾性分析, 术中监护中波幅下降50%, 潜伏期延长10%被认为是异常, 并测定躯体感觉诱发电位和经颅磁刺激运动诱发电位的敏感性分别是37.5%和62.5%, 然而, 两者联合应用敏感性可高达100%。

2.2 影响因素 诱发电位正常的波形有一定的变异范围, 影响波形的因素较多。

2.2.1 体温 2014年赞纳塔等研究心肺分流术中低体温对体感诱发电位的影响中, 发现比起正常体温, 低体温不仅显著延长了躯体感觉诱发电位(N9、N13、P14/N18、N20/P25)的潜伏期, 而且增高了N9和N20/P25的振幅^[30]。2013年Tang等^[31]在体温对大鼠视觉皮质诱发活动的实验中发现, 低体温降低视觉皮质的光学强度, 而高体温却相反。且他认为, 要得到一个可

靠的实验结果, 动物的核心体温波动范围不超过正常体温的3℃。

2.2.2 麻醉 麻醉情况对波形影响较大, 方浩等^[32]在研究异丙酚和氯胺酮对大鼠内侧膝状体腹侧核团中潜伏期听觉诱发电位(MLAEP)的影响中, 发现随着异丙酚给药剂量增大, Na波、Pa波和Nb波的潜伏期延长, Pa波的波幅下降, 一定浓度的异丙酚对大鼠内侧膝状体腹侧核团潜伏期听觉诱发电位产生剂量依赖性的抑制作用。段开明等^[33]在研究体感诱发电位与异氟醚吸入浓度的关系时发现体感诱发电位与呼气末异氟醚浓度变化呈正相关关系。可见, 麻醉药物与深度均能影响诱发电位的变化。

另外, 实验室记录条件、仪器种类、刺激强度、频率及刺激部位、滤波大小、应用单侧或双侧电极以及安放记录电极与参考电极的位置等都有关系。动物年龄、身高肢体长度也都有关系。为确保得到实验结果正常可靠, 需予以规范化调整^[27]。

3 小结 Conclusion

诱发电位对脊髓损伤的诊断与判断预后具有准确率高、操作简便、易应用等优点。体感诱发电位是反应脊髓后索功能的很好指标, 操作简便, 对检测患者感觉功能的变化有很好的指导作用。在急性脊髓损伤时, 运动诱发电位的波幅要比潜伏期变化更早、更灵敏, 且运动诱发电位的异常程度与肢体功能状态呈正相关。运动诱发电位能为各种脊髓疾病提供敏感而精确的诊断, 在患者治疗和康复期间, 运动诱发电位可作为评估的手段。而两者连用效果更好。诱发电位在脊髓损伤中的应用可能越来越广泛, 然而, 就临床电生理技术来说, 诱发电位因为使用针电极, 给患者带来一定痛苦, 能有一种让患者更易接受的方法, 是研究者们不懈努力的方向。

作者贡献: 张军卫构思并设计本综述, 王雪菲资料收集、分析并解析数据。张军卫审校, 张军卫、王雪菲对文章负责。

利益冲突: 文章及内容不涉及相关利益冲突。

伦理要求: 未涉及伦理冲突的内容。

学术术语: 脊髓损伤—是指由于外界直接或间接因素导致脊髓损伤, 在损害的相应节段出现各种运动、感觉和括约肌功能障碍, 肌张力异常及病理反射等相应改变。

作者声明: 文章为原创作品, 无抄袭剽窃, 无泄密及署名和专利争议, 内容及数据真实, 文责自负。

4 参考文献 References

- [1] Kang EN, Shin HI, Kim HR. Factors that influence employment after spinal cord injury in South Korea. *Ann Rehabil Med*. 2014; 38(1):38-45.
- [2] Tollefsen E, Fondenes O. Respiratory complications associated with spinal cord injury. *Tidsskr Nor Laegeforen*. 2012; 132(9):1111-1114.

- [3] 郝定均,何立民,袁福镛,等.脊髓损伤患者后期并发症及其相关因素探讨[J].中国脊柱脊髓杂志, 2005,15(5):267-270.
- [4] Bottai D, Scesa G, Cigognini D, et al. Third trimester NG2-positive amniotic fluid cells are effective in improving repair in spinal cord injury. *Exp Neurol*. 2014;254:121-133.
- [5] 王新家,叶卫莲,孔抗美,等.诱发电位改变与脊髓受压程度关系的实验研究[J].陕西医学杂志, 2004,33(6):483-485, 527.
- [6] 王德胜,桂士良,李素飞,等.大鼠急性脊髓损伤后诱发电位的实验研究[J].黑龙江医药科学, 2009,32(4):8-9.
- [7] 徐冬晨,王红星,王彤.诱发电位在大鼠脊髓损伤模型中的应用[J].中国康复医学杂志, 2007,22(12):1128-1130.
- [8] Machida M, Yamada T, Krain L, et al. Magnetic stimulation: examination of motor function in patients with cervical spine or cord lesion. *J Spinal Disord*. 1991;4(2):123-130.
- [9] 汤继文,侯勇,陈允震.诱发电位在实验性急性脊髓损伤中的应用研究[C]. 长春:第十届全国骨与关节损伤学术会议, 2004.
- [10] Nordgreen J, Horsberg TE, Ranheim B, et al. Somatosensory evoked potentials in the telencephalon of Atlantic salmon (*Salmo salar*) following galvanic stimulation of the tail. *J Comp Physiol A Neuroethol Sens Neural Behav Physiol*. 2007;193(12):1235-1242.
- [11] 潘映辐.临床诱发电位[M].2版.北京:人民卫生出版社,2000:245-290.
- [12] 胥少汀,郭世绶.脊髓损伤基础与临床[M].2版.北京:人民卫生出版社,2002:512-550.
- [13] Haupt WF, Pawlik G, Thiel A. Initial and serial evoked potentials in cerebrovascular critical care patients. *J Clin Neurophysiol*. 2006;23(5):389-394.
- [14] 平少华,程爱国,王相利.感觉诱发电位在实验性脊髓损伤中的应用[J].华北煤炭医学院学报, 2004,6(4):452-453.
- [15] 伍亚民,王正国,朱佩芳,等.家兔脊髓缺血再灌流皮层体感诱发电位的变化及其意义[J].第三军医大学学报, 1999,21(1):5-8.
- [16] 裴少保,方健,王海峰,等.体感诱发电位评价家兔脊髓冲击伤模型的神经机能变化[J].颈腰痛杂志, 2011,32(1):14-18.
- [17] Shen N, Wang S. Monitoring spinal-cord injury intraoperatively and attempting prognosis by cortical somatosensory evoked potentials: experimental study. *J Reconstr Microsurg*. 1998;14(1):61-66.
- [18] 余洪俊,费军,刘宏亮,等.不同程度脊髓牵拉损伤体感诱发电位的变化[J].重庆医学,2008,37(19):2164-2165.
- [19] Di Lazzaro V, Oliviero A, Profice P, et al. The diagnostic value of motor evoked potentials. *Clin Neurophysiol*. 1999;110(7):1297-1307.
- [20] 毛之奇,陆永建,方泽鲁.实验性家兔脊髓损伤后后肢运动功能与肌肉运动诱发电位的关系[J].南方医科大学学报, 2010,30(8):1860-1863.
- [21] 毛之奇,陆永建,方泽鲁.兔脊髓损伤后脊髓运动诱发电位D波与后肢运动功能的关系[J].中华神经医学杂志, 2011,10(4):389-392.
- [22] 吕飞舟,姜建元,张志玉,等.兔分级脊髓损伤后运动诱发电位的变化[J].复旦学报:医学版, 2003,30(4):342-345.
- [23] Lee WY, Hou WY, Yang LH, et al. Intraoperative monitoring of motor function by magnetic motor evoked potentials. *Neurosurgery*. 1995 Mar;36(3):493-500.
- [24] Glassman SD, Zhang YP, Shields CB, et al. An evaluation of motor-evoked potentials for detection of neurologic injury with correction of an experimental scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1995;20(16):1765-1775.
- [25] Mao ZQ, Lu YJ, Fang ZL. Relationship between muscle motor evoked potentials and hindlimbs motor function in rabbits with spinal cord injury. *Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao*. 2010;30(8):1860-1863.
- [26] Nardone R, Höller Y, Thomschewski A, et al. Central motor conduction studies in patients with spinal cord disorders: a review. *Spinal Cord*. 2014;52(6):420-427.
- [27] 张淑娟,李晓光.电生理学检查方法在动物脊髓损伤模型中的应用[J].中国康复理论与实践, 2004,10(11):685-687.
- [28] 田伟,何达,赵兰峰.运动诱发电位与体感诱发电位的脊髓等电位图的实验研究[J].中华医学杂志,2003,83(17):1525-1528.
- [29] Li F, Gorji R, Allott G, et al. The usefulness of intraoperative neurophysiological monitoring in cervical spine surgery: a retrospective analysis of 200 consecutive patients. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2012;24(3):185-190.
- [30] Zanatta P, Bosco E, Comin A, et al. Effect of mild hypothermic cardiopulmonary bypass on the amplitude of somatosensory-evoked potentials. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2014;26(2):161-166.
- [31] Tang B, Kalatsky VA. Influence of body temperature on the evoked activity in mouse visual cortex. *Brain Imaging Behav*. 2013;7(2):177-187.
- [32] 方浩,蒋豪,缪长虹,等.异丙酚和氯胺酮对大鼠内侧膝状体腹侧核团中潜伏期听觉诱发电位的影响[J].中华麻醉学杂志,2008,28(6):550-552.
- [33] 段开明,唐朝晖,欧阳文,等.体感诱发电位、量化脑电图与异氟醚吸入浓度的关系[J].临床麻醉学杂志, 2007,23(7):536-537.