

# Functional Magnetic Resonance Imaging Application and Its Clinical Significance in the Spondylotic Myelopathy

Yong Qi, Yanfang Liu, Guanwen Lin

The Second People's Hospital of Guangdong Province, Guangzhou Guangdong  
Email: yongqi1979@163.com

Received: Jun. 10<sup>th</sup>, 2016; accepted: Jun. 26<sup>th</sup>, 2016; published: Jun. 29<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

**Objective:** To explore the functional magnetic resonance imaging application and its clinical significance in the spondylotic myelopathy. **Methods:** 10 cases spondylotic myelopathy patients treated in the orthopaedic department of our hospital from January 2014 to June 2014 were selected as the observation objects, and 10 cases healthy volunteers were selected as the control objects in the same period. Functional magnetic resonance imaging and the Japanese orthopaedic society of scoring system (JOA scores) evaluating the postoperative recovery were measured in the preoperative and postoperative 6 weeks, 3 months and 6 months, respectively. The control objects in the same period were measured by functional magnetic resonance imaging. Functional magnetic resonance imaging and JOA score and postoperative recovery (time step, action) were compared between two groups at different time points. **Results:** The limited areas of the cortex were activated at main motor areas on the side of the brain after completing the action in the control objects. Activation of cortical map area in functional magnetic resonance imaging of the spondylotic myelopathy patients widened compared with the healthy controls. Cortical activation mapping area reduced activation area and close to the healthy group after the spinal cord decompression. Compared with the control group, the occipital lobe, the frontal lobe and the limbic system were the areas of the brain that ReHo of the observation group patients significantly reduced. The cerebellum and the edge of leaf were the areas of the brain that ReHo of the observation group patients significantly increased. The JOA score and post-operation of the observation group are more significant than those of the control group ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** Functional magnetic resonance imaging can be effective evaluation methods for the preoperative and postoperative cortical projection area changes in the spondylotic myelopathy patients' cerebral cortex. We can evaluate the postoperative recovery and give positive postoperative rehabilitation guidance effectively with the functional magnetic resonance imaging assessment.

## Keywords

Myelopathic Type Cervical Vertebra Disease, Functional Magnetic Resonance Imaging, The Cerebral Cortex

# 功能性核磁成像技术在脊髓型颈椎病患者中应用及其临床意义

齐勇, 刘燕芳, 林冠文

广东省第二人民医院, 广东 广州  
Email: yongqi1979@163.com

收稿日期: 2016年6月10日; 录用日期: 2016年6月26日; 发布日期: 2016年6月29日

## 摘要

目的: 探究功能性核磁成像技术在脊髓型颈椎病患者中应用及其临床意义。方法: 选择2014年1月至2014年6月我院骨科收治的脊髓型颈椎病患者为观察对象, 选择同期10例健康志愿者为对照组对象。在术前、术后6周、3月及其6月分别进行一次fMRI脑功能成像并根据日本骨科学会评分系统(JOA scores)对术后恢复情况进行评估。对照组对象同期行脑fMRI功能成像。比较两组不同时间点脑fMRI功能成像、JOA评分和术后恢复(步长, 动作完成时间)。结果: 对照组健康对象在完成指定动作时, 在对侧脑部主要运动区都有局部有限的皮质激活区域。脊髓型颈椎病患者fMRI图像表明激活的皮质映射区域与健康对照组相比有所扩大。脊髓减压术后皮质激活映射区有所缩小并接近健康组激活区域范围。与对照组比较, 枕叶、额叶及其边缘系统是观察组患者ReHo显著降低的脑区; 小脑及其边缘叶是观察组ReHo显著升高的脑区。JOA评分和术后恢复观察组患者明显( $P < 0.05$ )。结论: fMRI可作为脊髓型颈椎病患者术前和术后皮质投射区变化的有效评定方法, 通过此fMRI的评估可以有效的进行患者术后评估和术后恢复指导。

## 关键词

脊髓型颈椎病, 功能磁共振成像, 大脑皮质

## 1. 引言

颈椎病是骨科最常见的疾病之一, 多发生于中老年人, 主要表现为颈肩痛、头晕头痛、上肢麻木、肌肉萎缩、严重者双下肢痉挛、行走困难, 甚至四肢麻痹, 大小便障碍, 出现瘫痪, 让患者饱受疾病折磨, 严重影响患者的身心健康[1] [2]。流行病学资料显示: 国内颈椎病的发病率在青少年达到 10%~20%, 而在特定人群和高龄人群中可达 64.5%, 其中, 脊髓型颈椎病占颈椎病的 10%~15% [3] [4]。脊髓型颈椎病病理学机制是颈段脊髓受压, 治疗主要采用手术减压, 解除脊髓压迫, 同时结合术后康复训练促进功能恢复[5] [6]。该病致残率高, 给社会带来巨大的经济和社会负担, 为此, 深入研究脊髓型颈椎病具有重要的临床意义。

目前, 对脊髓型颈椎病的认识和处理主要集中在颈段脊髓这一局限部位, 因为脊髓型颈椎病的主要

症状和体征主要是由于颈部脊髓内的神经纤维损伤尤其是皮质脊髓束损伤所致[7] [8]。对于颈段脊髓的高级神经中枢层面的认知却知之甚少,对于脊髓型颈椎病患者脑功能状态的研究目前在国内外尚处于空白。功能性核磁成像技术 fMRI (functional magnetic resonance imaging)可以有效的监测与脊髓型颈椎病相关的脑部神经元代谢异常现象[9] [10]。为探究功能性核磁成像技术在脊髓型颈椎病患者中应用及其临床意义,本研究笔者选择 2014 年 1 月至 2014 年 6 月我院骨科收治的脊髓型颈椎病患者为观察对象,现将结果总结报道如下。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 一般资料

选择 2014 年 1 月至 2014 年 6 月我院骨科收治的脊髓型颈椎病患者为观察对象。纳入标准: 1) 均符合 1992 年全国颈椎病专题研讨会制定的脊髓型颈椎病诊断标准[7]; 2) 术前测量血压、心率、血清电解质及生化指标均在正常范围; 3) ASA I-II 级, 患者了解本研究的内容和意义, 自愿参与到研究计划并签订知情同意书。排除标准: 1) 脊髓本身疾患、肌萎缩侧索硬化、肌营养不良、椎管肿瘤、继发性粘连性蛛网膜炎等疾病; 2) 合并脑心肝肾肺等严重疾病; 3) 合并精神障碍或认知功能障碍; 4) 有功能性核磁成像检查禁忌症; 5) 处于妊娠或哺乳等特殊时期; 6) 拒绝参加本研究的患者。其中, 男性 4 例, 女性 6 例; 患者年龄为 18~65 岁, 平均年龄为(49.86 ± 15.49)岁; 身高为 150~178 cm, 平均身高为(163.24 ± 15.52) cm; 体重为 40~75 kg, 平均体重为(60.38 ± 14.47) kg。选择同期 10 例健康志愿者为对照对象。男性 5 例, 女性 5 例; 年龄范围为 18~65 岁, 平均年龄为(50.73 ± 14.88)岁; 身高为 152~180 cm, 平均身高为(164.98 ± 13.28) cm; 体重为 39~75 kg, 平均体重为(61.26 ± 15.57) kg。在性别构成、平均年龄、平均身高和平均体重方面, 两组患者一般资料具有可比性,  $P > 0.05$ 。

### 2.2. 方法

两组均接受脑功能性核磁成像检查。

观察组患者术前接受基本神经系统检查, 颈部 MR 造影和脑部 fMRI 功能成像检查。扫描步骤: 采用 PHILIPS 3.0 超导磁共振扫描机, 用标准的头颅环形极化线圈固定观察组患者头部, 防止移动。fMRI 检查: 先行矢状位 T1 加权定位像的扫描(500/50/1) [重复时间(TR)/回波时间(TE)/激励次数], 在完成常规脑扫描确定无异常后, 在矢状位图像上定位 4 层 T1 加权轴位图像, 层厚为 6 mm, 层间隔为 2 mm, 位置自胼胝体上部上缘开始, 到颅骨下缘。在矢状位图像定位 4 层 T1 加权冠状位图像, 层厚为 10 mm, 层间隔为 3 mm, 扫描层面平行于脑干, 前缘为脑干前缘, 包括大部分小脑, 此轴位及冠状位图像将作为功能图的参考图像。磁共振脑功能资料是用单次触发, 梯度回波平面回波技术获得, TR: 2000, TE: 60, 反转角: 90°, 矩阵为 128:192, 视野为 24 cm, 扫描时间为 4 min, 每层每 2 s 获得一幅图像, 每层共 128 幅图像, 4 层共获得 512 幅图像。

动作任务: 观察组患者进行双手屈指运动, 肘关节屈伸和双足踝屈伸运动等简单动作。测试过程中由检查者向观察组患者语音提示运动起始和终止, 每项任务均采用组块式设计完成, 且每一组块持续 20 s, 分别为运动—静息—运动—静息—运动—静息或者静息—运动—静息—运动—静息—运动共六个时相。每个组块内同一运动方式重复 3 次, 各组块之间插入 20 s 静息的对照任务。观察组患者在检查者的指令下分别完成上述运动, 每次运动频率约为 1 Hz, 每个序列扫描时间为 240 s, 其中前 16 s 为预扫描, 功能相采集为 224 s。静息和运动持续时间均为 20 s。

在脑功能性核磁成像检查后 2 周内行脊髓减压手术治疗, 观察组患者由同一医疗小组医师完成手术。

患者在术后 6 周、3 月及其 6 月分别进行一次 fMRI 脑功能成像并根据日本骨科学会评分系统(JOA scores)对术后恢复情况进行评估。对照组同期行脑 fMRI 功能成像。

### 2.3. 统计分析

REST-slice Viewer 软件获取统计结果脑区位置。提取患者组异常脑区的 ReHo 值。采用 SPSS19.0 统计软件进行统计。重复测量数据的比较采用重复测量数据的方差分析,采用 t 检验分析计量资料,采用 2 检验分析计数资料,采用 Wilcoxon 秩和检验分析等级资料。设  $P < 0.05$  为差异有统计学意义,双侧检验。

## 3. 结果

### 3.1. 两组大脑皮层激活区域 fMRI 图像表现对比分析

脊髓型颈椎病患者经过脊髓减压手术治疗后,椎管容积扩大,脊髓受压迫得到缓解。对照组健康对象的 fMRI 脑功能成像结果显示手部和足部运动时,对侧脑部主要运动区都只有局部有限的皮质激活区域,且足部运动时激活区域更加集中。同时,10 例健康对照对象的脑功能成像激活位置和大小在每个时间节点上都只有微小的差异。观察组患者大致分为以下三种临床表现:1) 进行性的行走障碍(A 类);2) 进行性手部不协调(B 类);3) 手部运动功能下降(C 类)。

与健康对照组脑 fMRI 功能图像相比较,脊髓型颈椎病患者的 fMRI 图像内的大脑皮层激活区域与他们的临床症状差异呈现出一致性,详见表 1。

### 3.2. 观察组患者与对照组 ReHo 异常的区域对比分析

与对照组比较,枕叶(枕叶中部)、额叶(左额中回和左中央前回)及其边缘系统(右尾状核头和右颞上回)等是观察组患者 ReHo 显著降低的脑区;小脑(双侧小脑后叶和小脑前叶)、边缘叶(右颞中回和桥脑-海马旁回)是观察组 ReHo 显著升高的脑区,详见表 2。

### 3.3. 观察组患者术后随访: JOA 评分和恢复评估

笔者对脊髓型颈椎病患者进行术后的 JOA 评分,并且针对不同的临床症状进行了术后恢复评估。对于 A 类患者,分别在术前和术后记录患者的行走速度和步长。而对于 B、C 类患者,对正确做出方法部分的简单动作进行术前和术后计时。具体改善情况详见表 3。

**Table 1.** The contrast analysis of observation group's cerebral cortex activation region fMRI image performance  
**表 1.** 观察组大脑皮层激活区域 fMRI 图像表现对比分析

观察组	术前	术后 6 周	术后 3 月	术后 6 月
A 类	足部运动时显著增大的皮层激活区域,有时出现双侧激活	患者脑部主运动区域的激活区已限制在对侧初级运动的较小范围内,而且在辅助运动区和运动前区皮质所占的范围更小	患者脑部主运动区的激活区域会增加,另外,辅助运动区和运动前区皮质的激活区域也随之增加	激活区域主要集中在侧踝关节运动区
B 类	大脑皮层激活区域的后部和中部出现合并现象	与手足运动相关的对侧皮质激活区域相比术前明显减小	对侧激活的主要运动区就已集中在很小的范围内	与健康对照组激活区域更加接近,趋于一致
C 类	大量增加的背侧运动前区活动	与手足运动相关的对侧皮质激活区域相比术前明显减小	对侧激活的主要运动区就已集中在很小的范围内	与健康对照组激活区域更加接近,趋于一致

**Table 2.** The contrast analysis of ReHo abnormal region between observation group and control group patients  
**表 2.** 观察组患者与对照组 ReHo 异常的区域对比分析

脑区	Brodmann 区	MNI (加拿大蒙特利尔神经研究所人脑坐标)			体素数量	最大差异点 t 值
		X	Y	Z		
减低区域						
右侧尾状核头		17	28	6	105	-3.76
右侧颞上回	42	41	-45	12	194	-5.10
左侧枕叶中部	17	-24	-88	0	86	-3.54
左侧中央前回	3	-27	-24	52	96	-3.51
左侧额中回	6	-31	9	28	88	-4.73
升高区域						
右侧小脑后叶		39	-76	-58	247	3.67
右侧颞中回	37	67	-30	-15	158	5.11
左侧小脑后叶	5	-40	-76	-48	129	3.36
左侧小脑前叶		-19	-30	-55	99	3.08
桥脑-海马旁回		21	-31	-50	419	4.24

**Table 3.** JOA score and recovery assessment of observation group patients with postoperative follow-up visit  
**表 3.** 观察组患者术后随访：JOA 评分和恢复评估

项目	术前	术后 6 周	术后 3 个月	术后 6 个月
JOA 评分(A, 分)	11.39 ± 0.87	12.78 ± 0.93 <sup>a</sup>	14.11 ± 0.92 <sup>ab</sup>	15.96 ± 0.94 <sup>abδ</sup>
JOA 评分(B, 分)	12.28 ± 0.56	13.82 ± 0.58 <sup>a</sup>	14.56 ± 0.59 <sup>ab</sup>	16.03 ± 0.61 <sup>abδ</sup>
JOA 评分(C, 分)	10.73 ± 0.43	12.94 ± 0.54 <sup>a</sup>	14.32 ± 0.63 <sup>ab</sup>	15.94 ± 0.78 <sup>abδ</sup>
行走速度(A, min/s)	65.34 ± 5.98	73.21 ± 5.85 <sup>a</sup>	92.44 ± 5.47 <sup>ab</sup>	104.72 ± 6.86 <sup>abδ</sup>
步长(A, m)	0.54 ± 0.03	0.62 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.72 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.79 ± 0.05 <sup>abδ</sup>
完成动作时间(B, s)	9.74 ± 1.02	6.25 ± 0.98 <sup>a</sup>	4.18 ± 0.87 <sup>ab</sup>	3.09 ± 0.65 <sup>abδ</sup>
完成动作时间(C, s)	8.83 ± 0.87	6.17 ± 0.25 <sup>a</sup>	3.96 ± 0.21 <sup>ab</sup>	2.17 ± 0.11 <sup>abδ</sup>

## 4. 讨论

目前, 研究神经中枢系统功能的研究方法主要有: 功能核磁共振成像技术(fMRI)、正电子发射断层扫描成像(PET 技术)以及脑电图、放射免疫技术, 免疫组化以及脑薄层切片等方面[11] [12]。fMRI 这项新技术是在 20 世纪 90 年代出现的以 BOLD 效应为基础, 通过脑部血流和摄氧量的改变可以有效地体现皮质投射区的神经细胞活动, 这种成像形态已经成为可以映射大脑结构重组和可塑性的一种有效工具[13] [14]。fMRI 的无创性、无辐射和高质量的空间分辨率特性使我们能够实时地监测活体大脑内神经细胞活动, 对探索大脑、脊髓病理生理、评价大脑及脊髓功能、指导临床治疗及疗效检测等具有广阔的应用前景和价值, 实现了本研究的可行性[15] [16]。

fMRI 技术最成熟的是血氧水平依赖性的脑功能成像(BOLD-fMRI)。脱氧 HbO 与氧合 HbO 是人类血液中血红蛋白的两种存在形式。顺磁场性的脱氧 Hb 和反磁场性的氧合 Hb 导致脑区之间含不同含量的两种物质产生磁化的概率率相差很大, 从而使脑功能区产生不均匀的磁场, 使 T2、T2WI 的信号减低[17] [18]。任务信号激活特定的脑功能区时, 该区域神经活动增强导致局部脑葡萄糖利用率显著升高, 使氧合 HbO

增加而脱氧氧合 HbO 减少,从而使磁共振的信号强度在脑激活区域明显升高[19] [20]。

本研究发现:A类脊髓型颈椎患者的fMRI图形显示足部运动时,在对侧脑部主要运动区有显著增大的皮层激活区域,且有时出现双侧激活。对于B类脊髓型颈椎病患者,fMRI结果显示大脑皮层激活区域的后部和中部出现了合并现象。但,C类脊髓型颈椎患者的fMRI图像显示背侧运动前区活动大量增加。术后手部运动(B、C组)测试结果显示,手术治疗六周后,与手足运动相关的对侧皮质激活区域相比术前明显减小。三个月时,对侧激活的主要运动区就已经集中在很小的范围内。六个月后治疗组与健康对照组激活区域更加接近,趋于一致。足部运动(A组)测试结果表明,手术治疗后六周,患者脑部主运动区域的激活区已限制在对侧初级运动的较小范围内,而且在辅助运动区和运动前区皮质所占的范围更小,这种分布模式大约会在术后持续三个月。三个月后,患者脑部主运动区的激活区域会增加,另外,辅助运动区和运动前区皮质的激活区域也随之增加。术后六个月,激活区域主要集中在侧踝关节运动区。与对照组比较,枕叶(枕叶中部)、额叶(左额中回和左中央前回)及其边缘系统(右尾状核头和右颞上回)等是观察组患者ReHo显著降低的脑区;小脑(双侧小脑后叶和小脑前叶)、边缘叶(右颞中回和桥脑-海马旁回)是观察组ReHo显著升高的脑区。究其原因可能与大脑可通过学习和训练可完成因病损而丧失的功能有关[21]。其实,大脑的可塑性理论是神经康复学家Bathe首先提出。学者通过临床观察和利用皮层电刺激方法对人类和非人灵长类动物大脑皮层躯体定位分布进行了大量的实验研究,发现躯体特定部位代表区沿着大脑初级运动皮层中枢或者初级感觉中枢,即中央前回或者后回长轴有序排列[22] [23]。但是肢体功能在大脑的投影区并非一成不变,有确切的研究表明,它可随着肢体运动功能的变化而发生飘移,这就是大脑功能重组现象,是大脑可塑性的表现。脑功能的变化影响到四肢的感觉和运动功能,四肢功能的状态是神经系统功能的外在表现,同时四肢的运动和感觉也在一定程度上反过来影响着脑功能,影响到脑功能分区的空间分布和重建,这是大脑的可塑性的重要方面。早期的大脑可塑性研究主要集中于脑外伤、癫痫、中风、阿尔兹海默病、毒品或者药物药物成瘾等方面[24],近年来国内外许多著名的研究机构将研究的重点转向大脑可塑性对促进四肢损伤后功能康复方面上来。目前,低级神经中枢脊髓损伤后的功能区重塑方面的研究也取得了一定成果,证实在脊髓低级中枢也同样存在着功能区的改变[25]。在本研究中,脊髓型颈椎患者的皮质投射区的激活面积较健康对照组大,我们认为一些脊髓型颈椎病患者通过大脑功能重组或与中风及颈椎脊髓炎患者类似形成新的神经通路来保留神经功能,用与运动的手同侧的运动神经皮质以及其他紊乱的神经网络节点来优化剩余的神经功能,这点可以用来解释有明显皮质脊髓束损伤的患者可以完成指定动作的机制。其他一些患者表现出进行性或快速的神经退化现象也许与颈部下行神经纤维的损伤有关。所有脊髓型颈椎病患者在手术后都实现了神经功能的提高并且在皮质投射区表现出明显的变化,而健康对照组则在重复的fMRI影像中几乎没有变化。

本研究随访结果JOA评分显示术后患者大脑功能性运动能力显著提高,最高可达到45.55%(C组)。针对A组足部运动障碍记录行走速度和步长显示,6个月后行走速度可提高60.27%。步长从术前的0.59 m增加到0.78 m,接近正常步长。对于手部运动障碍患者(B、C组)通过测量完成动作时间来评估恢复情况。从表中数据可以看出,手术治疗6个月后在正确完成指令动作的基础上,动作时间可缩短约3~4倍,能够明显提高日常生活和工作效率。可见,手术减压会通过受损的(非永久受损轴突)神经传导恢复来进行大脑皮质重组,通过持续的任务练习和学习可以实现大脑皮质的进一步重组和神经功能的恢复。

综上所述,fMRI可成为在术前和术后检测脊髓型颈椎病患者在皮质投射区变化的有效评定方法,可通过此技术来进行术后有效地评估和术后恢复指导。

## 基金项目

广东省医学科研基金立项:脊髓型颈椎病患者手术前后大脑皮层功能重组的研究,编号:A2013137。

## 参考文献 (References)

- [1] 王国华, 黄象望, 刘斌, 等. Mobi-C 人工颈椎间盘置换与颈前路减压植骨融合术治疗脊髓型颈椎病的疗效比较[J]. 医学临床研究, 2013, 30(7): 1307-1310.
- [2] 吴广忠, 陈静, 段丽莎, 等. 脊髓型颈椎病术前 MRI 信号变化与手术预后的相关性研究[J]. 医学临床研究, 2013, 30(7): 1254-1257.
- [3] 邓化龙, 向铁城, 黄象望, 等. 颈椎后路侧块内固定与椎弓根内固定治疗脊髓型颈椎病的临床疗效比较[J]. 医学临床研究, 2014, 31(10): 2032-2035.
- [4] 王雷, 周震, 王遵来, 等. 针灸治疗颈椎病的临床研究进展[J]. 针灸临床杂志, 2010, 26(5): 69-73.
- [5] Konomi, T., Fujiyoshi, K., Hikishima, K., *et al.* (2012) Conditions for Quantitative Evaluation of Injured Spinal Cord by *in Vivo* Diffusion Tensor Imaging and Tractography: Preclinical Longitudinal Study in Common Marmosets. *Neuroimage*, **63**, 1841-1853. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.08.040>
- [6] Baron, E.M. and Young, W.F. (2007) Cervical Spondylotic Myelopathy: A Brief Review of Its Pathophysiology, Clinical Course, and Diagnosis. *Neurosurgery*, **60**, S35-S41. <http://dx.doi.org/10.1227/01.neu.0000215383.64386.82>
- [7] Freund, P., Weiskopf, N., Ward, N.S., *et al.* (2011) Disability, Atrophy and Cortical Reorganization Following Spinal Cord Injury. *Brain*, **134**, 1610-1622. <http://dx.doi.org/10.1093/brain/awr093>
- [8] Burkhardt, J.K., Mannion, A.F., Marbacher, S., *et al.* (2013) A Comparative Effectiveness Study of Patient-Rated and Radiographic Outcome after 2 Types of Decompression with Fusion for Spondylotic Myelopathy: Anterior Cervical Discectomy versus Corpectomy. *Neurosurgical Focus*, **35**, E4. <http://dx.doi.org/10.3171/2013.3.FOCUS1396>
- [9] Kalsi-Ryan, S., Karadimas, S.K. and Fehlings, M.G. (2013) Cervical Spondylotic Myelopathy: The Clinical Phenomenon and the Current Pathobiology of an Increasingly Prevalent and Devastating Disorder. *Neuroscientist*, **19**, 409-421. <http://dx.doi.org/10.1177/1073858412467377>
- [10] Burkhardt, J.K., Mannion, A.F., Marbacher, S., *et al.* (2015) The Influence of Cervical Plate Fixation with Either Autologous Bone or Cage Insertion on Radiographic and Patient-Rated Outcomes after Two-Level Anterior Cervical Discectomy and Fusion. *European Spine Journal*, **24**, 113-119. <http://dx.doi.org/10.1007/s00586-014-3456-y>
- [11] Kennerley, A.J., Mayhew, J.E., Boorman, L., *et al.* (2012) Is Optical Imaging Spectroscopy a Viable Measurement Technique for the Investigation of the Negative BOLD Phenomenon? A Concurrent Optical Imaging Spectroscopy and fMRI Study at High Field (7 T). *Neuroimage*, **61**, 10-20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.03.015>
- [12] Smith, A.C., Rymer, W.Z. and Knikou, M. (2015) Locomotor Training Modifies Soleus Monosynaptic Motoneuron Responses in Human Spinal Cord Injury. *Experimental Brain Research*, **233**, 89-103. <http://dx.doi.org/10.1007/s00221-014-4094-7>
- [13] Gee, D.G., McEwen, S.C., Forsyth, J.K., *et al.* (2015) Reliability of an fMRI Paradigm for Emotional Processing in a Multisite Longitudinal Study. *Human Brain Mapping*, **36**, 2558-2579. <http://dx.doi.org/10.1002/hbm.22791>
- [14] 周炜, 唐健, 陈琦, 等. 脊髓信号改变对颈后路减压内固定术治疗多节段脊髓型颈椎病疗效的影响[J]. 江苏医药, 2014, 40(23): 2868-2869.
- [15] Chase, H.W., Fournier, J.C., Greenberg, T., *et al.* (2015) Accounting for Dynamic Fluctuations across Time When Examining fMRI Test-Retest Reliability: Analysis of a Reward Paradigm in the EMBARC Study. *PLoS ONE*, **10**, e0126326. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0126326>
- [16] 周诚, 王嘉洲, 陈敏, 等. 针刺穴位与大脑皮层之间关系的脑功能 MRI 表现[J]. 中华放射学杂志, 2005, 29(3): 252-255.
- [17] Negishi, M., Martuzzi, R., Novotny, E.J., Spencer, D.D. and Constable, R.T. (2011) Functional MRI Connectivity as a Predictor of the Surgical Outcome of Epilepsy. *Epilepsia*, **52**, 1733-1740. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1528-1167.2011.03191.x>
- [18] Tsunoda, K., Sekimoto, S. and Baer, T. (2012) Brain Activity in Aphonia after a Coughing Episode: Different Brain Activity in Healthy Whispering and Pathological Aphonic Conditions. *Journal of Voice*, **26**, 668.e11-668.e13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvoice.2011.11.004>
- [19] Zoccatelli, G., Beltramello, A., Alessandrini, F., Pizzini, F.B. and Tassinari, G. (2010) Word and Position Interference in Stroop Tasks: A Behavioral and fMRI Study. *Experimental Brain Research*, **207**, 139-147. <http://dx.doi.org/10.1007/s00221-010-2433-x>
- [20] 王伟东, 孔抗美, 吴仁华. 脊髓神经功能的功能磁共振成像研究[J]. 汕头大学医学院学报, 2006, 19(2): 126-128.
- [21] Cadotte, D.W., Bosma, R., Mikulis, D., *et al.* (2012) Plasticity of the Injured Human Spinal Cord: Insights Revealed by Spinal Cord Functional MRI. *PLoS ONE*, **7**, e45560. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0045560>
- [22] Kim, W. and Kim, S.K. (2016) Neural Circuit Remodeling and Structural Plasticity in the Cortex during Chronic Pain.

*The Korean Journal of Physiology and Pharmacology*, **20**, 1-8. <http://dx.doi.org/10.4196/kjpp.2016.20.1.1>

- [23] Jantzen, K.J. (2010) Functional Magnetic Resonance Imaging of Mild Traumatic Brain Injury. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, **25**, 256-266. <http://dx.doi.org/10.1097/HTR.0b013e3181e5477c>
- [24] Ipek, M., Hilal, H., Nese, T., Aynur, M. and Gazanfer, E. (2011) Neuronal Plasticity in a Case with Total Hemispheric Lesion. *Journal of Medicine and Life*, **4**, 291-294.
- [25] 陈业晞, 沈智威, 李志扬, 等. 电针刺激脊髓损伤患者穴位的脊髓磁共振功能成像激活区特征[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(43): 8049-8052.

再次投稿您将享受以下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>