

·临床研究·

单侧踝背屈等长运动对双侧大脑皮质的影响*

李霞¹ 徐守宇¹ 解光尧¹

摘要

目的:利用fMRI技术研究人体单侧主动踝背屈时双侧脑功能区激活情况,为力量训练交叉迁移的中枢机制提供理论依据,并为进一步临床康复应用提供理论支持。

方法:选取8名健康青年男性右利腿志愿者,以右踝关节背屈主动用力最大等长收缩为刺激模式,采用组块设计,使用1.5T磁共振全身扫描仪进行fMRI数据采集,利用SPM5软件进行数据分析和脑功能区定位。

结果:右踝背屈主动运动主要激活脑区为双侧初级躯体运动区、双侧次级躯体感觉区、双侧运动前区、双侧运动辅助区、双侧小脑、双侧扣带回及对侧初级躯体感觉区。

结论:单侧踝背屈主动运动引起双侧大脑皮质多个运动相关皮质的激活,说明主动运动引起的交叉迁移现象可能存在于大脑皮质机制,支持皮质参与的神经机制学说,也为进一步将交叉迁移效果应用到临床提供了理论依据。

关键词 交叉迁移;功能性磁共振成像;踝背屈

中图分类号:R743.3,R493 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2013)-11-996-05

The impact of unilateral voluntary ankle isometric dorsiflexion on bilateral cerebral cortex activation/LI Xia,XU Shouyu,XIE Guangyao//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2013, 28(11): 996—1000

Abstract

Objective: To investigate bilateral cerebral cortex activation during unilateral voluntary ankle isometric dorsiflexion by using fMRI, to provide evidence for the underlying central mechanisms of strength training cross education and practice of clinical rehabilitation.

Method: Eight right-footed healthy subjects volunteered for the study. During the maximum isometric dorsiflexion of the right ankle, fMRI images of cerebral cortex activation were obtained. A block design was used for the inspection. The fMRI was performed on a 1.5T whole body MRI scanner. SPM5 was used to process data and localize functional areas.

Result: For voluntary contraction task, significant activations were observed in the bilateral primary motor cortex, bilateral secondary somatosensory cortices, bilateral premotor cortex, bilateral supplementary motor area, bilateral cerebellum, bilateral cingulate gyrus and contralateral primary sensory area.

Conclusion: Multiplemotor areas in bilateral cerebral cortex were activated in the voluntary tasks. Cortical mechanisms may be involved in voluntary cross education, which provide experimental evidence and offer a new way for clinical rehabilitation practice in requiring cases.

Author's address The Third Affiliated Hospital of Zhejiang Chinese Medial University, Hangzhou,310005

Key word cross education; functional magnetic resonance imaging; ankle dorsiflexion

研究表明,单侧肢体力量训练能够增长对侧肢体同源肌肉的力量^[1-2]。训练一侧肢体不仅可使受

训练肌肉增长力量,同时也可以影响未受直接训练的对侧肢体同源肌肉力量,这种现象称之为交叉迁

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2013.11.003

*基金项目:浙江省教育厅科研项目资助(Y201223514);浙江中医药大学科研项目(200712)

1 浙江中医药大学附属第三医院,杭州市滨江区滨文路548号,310005

作者简介:李霞,女,硕士,讲师;收稿日期:2012-12-28

移现象(cross education)^[3]。在四肢肌力训练中,如胫骨前肌、膝关节屈伸肌群、肘屈肌群、小指展肌等部位都观察到了交叉迁移现象^[2]。这种现象可以给我们提供一种新的康复手段,特别是一侧肢体损伤的患者,可以通过锻炼健侧达到患侧肌力增长的效果。

交叉迁移现象的核心机制至今没有统一的认识。交叉迁移现象发生时未训练侧肌肉体积并未产生明显的肥大,大多数学者认为其根本机制在于神经系统。以往的研究都存在一定的局限性,大都通过外周的神经反射来间接的推断交叉迁移的神经机制,而无法直接观察人脑的功能活动。随着神经影像学的发展,功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)的出现,为人们提供了直接观察和分析人脑功能的新途径。目前,国内外对于大脑感觉和运动功能的研究已不少见,但是利用fMRI针对交叉迁移现象的研究尚少。本研究通过fMRI研究人体主动用力最大等长收缩时脑激活区域的变化,为力量训练交叉迁移现象中枢机制的研究提供依据。也为更好地将这一方法应用于临床疾病康复提供理论支持。

1 资料与方法

1.1 实验对象

健康男性志愿者8名,平均年龄25岁,过去均无专业体育训练史,身体健康,无神经系统疾病、骨骼肌肉伤病、心脏病史。受试前无任何不适感,过去一年无力量训练史。实验对象对本研究的目的和要求均能充分理解,自愿参加本实验,并签订知情同意书。参照李心天编制的利手利足检查量表及评分标准判定均为右利足^[4]。

1.2 运动模式

实验前向每位志愿者详细地讲解整个实验过程,并进行动作示范与练习,以保证正确配合实验。实验过程中,受试者仰卧,闭眼、放松,头部制动,右膝关节保持屈曲90°,右踝关节跖屈15°,做最大随意收缩(maximal voluntary contraction, MVC),尽最大力完成右踝关节等长背屈运动。运动频率约为10次/min,在实验前教会志愿者掌握该频率运动。另一腿自然放松,伸直放于一侧。

1.3 扫描方案

采用组块(block design)设计模式,静息相(baseline)和刺激相(task)交替,静息相受试者放松,不做任何运动;刺激相给予上述刺激。每一组块长1min,之后休息1min,各重复3次。每组运动持续1min,在每组收缩开始及结束时由实验员给予轻触觉提醒。

1.4 成像设备及参数

采用GE公司1.5T磁共振全身扫描仪及头部正交线圈。fMRI扫描采用梯度回波结合单次激发回波平面成像技术,重复时间3000ms,回波时间40ms,视野24cm×24cm,矩阵128×128,层厚6mm,层间距1mm,扫描层面共20层,包括全脑范围。

1.5 统计学分析

将fMRI数据传输至离线工作站,采用SPM5软件进行数据处理和统计分析。对运动校正中检测到头部三维平移超过0.5mm、三维旋转超过0.5°的数据舍弃。fMRI图像经标准化后转入SPM标准模板脑,进行空间平滑处理。对运动校正后符合要求数据进行组分析,统计阈值概率设定为 $P<0.05$,激活范围阈值设定为10个像素,即连续激活像素数达到10以上的区域考虑为有意义激活区。将激活区叠加于MNI模板脑,记录激活区解剖部位、激活强度和MNI坐标。数据处理分析由专业影像学医师协助完成。

2 结果

主动右踝关节背屈运动主要引起以下脑区激活:双侧初级躯体运动区(primary motor cortex, M1)、双侧次级躯体感觉区(secondary somatosensory cortices, SII)、双侧运动前区(premotor area, PMA)、双侧运动辅助区(supplementary motor area, SMA)、双侧小脑(cerebellum, Cb)及扣带回(cingulate gyrus, GC);对侧初级躯体感觉区(primary sensory, S1)。脑激活区情况见图1—2所示。激活区的具体解剖部位、激活强度和MNI坐标见表1。

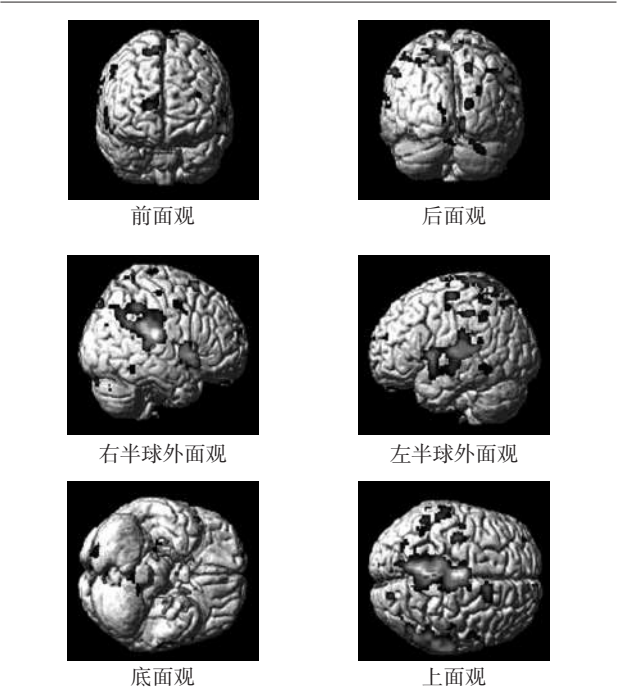
3 讨论

磁共振成像技术能够通过检测脑区细胞活动时血液动力学变化获得脑激活图像用以评价脑功能,

表1 主动右踝关节背屈脑激活区部位、MNI坐标和激活强度

激活脑区	Brodmann 分区	对侧 MNI 坐标(mm)			t 值	同侧 MNI 坐标(mm)			t 值
		x	y	z		x	y	z	
M1	BA4	-6	-20	68	14.9	4	-24	70	12.3
S1	BA3,1,2	-8	-54	64	19.34	-	-	-	-
SII	BA40	-56	-24	8	12.35	62	-24	18	14.20
PMA	BA6	-38	-14	60	12.07	54	0	46	11.0
SMA	BA6	-4	-8	48	10.54	8	-2	48	8.92
GC	BA24	-6	-14	38	9.85	8	-4	40	8.56
Cb		-14	-52	-32	11.81	28	-70	-32	8.12

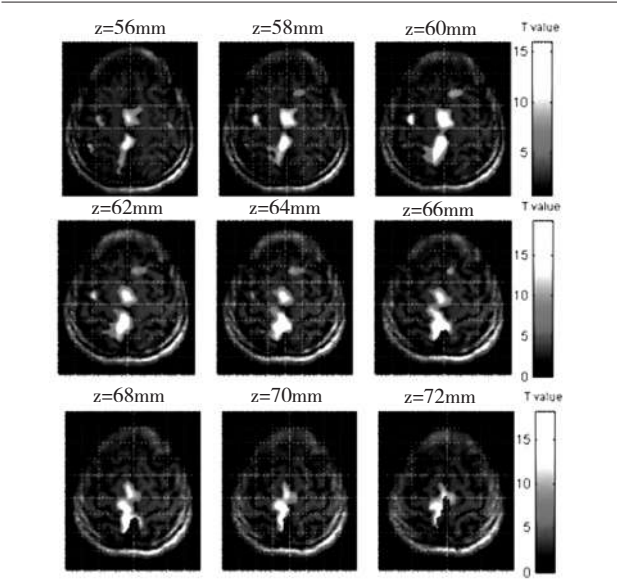
图1 主动右踝关节背屈运动时脑激活区情况



是一种安全的、无创伤及无辐射的影像学检查手段。其时间分辨率及空间分辨率高,重复性好,一次成像可以同时获得解剖图像和功能图像,不仅能显示脑功能激活区的部位、大小和范围,而且可直接显示激活区所在确切解剖位置,已广泛应用于人脑的基础研究和临床研究。

目前,国内外对于大脑感觉和运动功能的研究已不少见,但是利用fMRI针对交叉迁移现象的研究尚少。对于fMRI的研究来说,大多关注的是上肢的活动,多采用的是手指运动模式。这与力量交叉迁移研究的肌肉群大相径庭。现有关于交叉迁移现象的研究观测,多是较大的抗重力肌肉群,比如股四头肌、腓肠肌。本研究的fMRI设计针对交叉迁移现象,刺激方式的选择、实验条件的控制比以前相关研

图2 主动右踝关节背屈运动时经大脑半球兴奋点所作的横断位(Z轴)切面



亮点为阳性结果区域,如标尺所示,从下向上颜色越淡说明阳性结果的可能性越高。

究更加严谨。通过自制的踝关节运动装置,控制膝、踝关节活动的角度,尽可能地减少不必要的晃动,减少误差。

本实验利用fMRI观察单侧主动踝背屈向心收缩运动时的脑活动,发现多个脑区被激活,其中运动相关的大脑皮质为双侧的初级躯体运动区(M1)、次级躯体感觉区(SII)、运动前区(PMA)、运动辅助区(SMA)、小脑(Cb)、扣带回(GC)及对侧的初级躯体感觉区(SI)。MacIntosh等研究报道,单侧的踝背屈引起大脑对侧的M1,S1,双侧的SMA,SII,前扣带皮质激活^[5]。本研究激活了双侧的M1,其他激活区域与MacIntosh等研究报道一致。本研究受试者测试时做踝关节MVC。MacIntosh等研究受试者做踝关节运动时并没有对抗阻力,与MacIntosh等研究相比,

本实验运动强度较大,募集更多的皮质神经元,激活更多的像素^[6],fMRI信号强度更强,激活双侧的M1,而不只是对侧的M1。在很多报道交叉迁移训练效果的研究中,与低强度的训练相比,运动强度最大或接近最大收缩^[2],可以引起更明显的双侧皮质活动,如M1,PMA,SMA及其他相关的区域。

本研究发现单侧主动踝背屈向心收缩时能够引起双侧M1的兴奋。国外学者也有相关报道,单侧上肢运动时双侧M1被激活^[7]。也有报道,身体一侧肢体肌肉的主动收缩和同侧M1的兴奋相关^[8-9]。这种双侧M1的共同兴奋可能引起交叉迁移和大脑的可塑性的变化^[10]。在单侧运动活动时,运动皮质的兴奋通过大脑半球间的通路从启动的M1扩散到未启动的M1。本实验观察到单侧肢体运动时连接两大脑半球的双侧扣带回也被激活。推测交叉迁移现象的发生,可能是运动皮质的兴奋通过连接两大脑半球的胼胝体从一侧扩散到另一侧。但是,是否这种双侧活动是运动皮质兴奋从大脑半球一侧转移到另一侧的结果,仍未明了。在胼胝体完全发育不全的患者,在单侧活动时双侧M1激活,这种双侧同时兴奋必然是在单侧活动时两侧单独被激活^[11]。交叉迁移现象的发生可能是运动皮质的兴奋从大脑的一侧扩散到另一侧,也可能是两侧大脑的运动皮质同时兴奋。

有研究从影像学(imaging),诱发电位(evoked potential),脑电图(electroencephalogram,EEG)及经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation,TMS)研究说明,运动前区(PMA)和辅助运动皮质(SMA)在单侧运动时同侧也被激活^[8-9,12-16]。本实验也观察到单侧运动时双侧PMA、SMA的激活。PMA是与感觉触发或引导的运动有关的皮质区^[17],主要与运动的选择、运动准备和运动的学习有关。SMA主要与内源性信号启动的运动准备有关^[18-19],在运动的开始时起作用^[20]。SMA前部与高级运动控制有关,主要参与运动的准备功能,被认为参与运动编码和计划^[21],与前额叶、前运动皮质和前扣带回密切相关;后部主要是与运动执行有关,直接投射纤维到脊髓前角细胞,或间接通过M1和扣带回与脊髓相联系^[22-23]。这说明,参与运动准备的双侧大脑皮质也可能引起交叉迁移现象。PMA、SMA与大脑的其他皮质及脊髓都

有联系,这些功能区与脊髓及其他相关区域的联系也可能是交叉迁移现象发生的原因。

从反应的强弱程度上看,除了SII的激活强度同侧大于对侧外,大部分双侧的激活区仍是对侧的激活强度大于同侧。说明,未训练侧肢体力量增长小于训练侧肢体的原因可能在于大脑皮质激活区强度的差异。

fMRI研究尚处于起步阶段,运动刺激引起的MRI信号和局部脑血流之间的定量关系目前还不是很清楚^[24],但是提供了一个相对精确的运动激活区域的大脑地图,能够定性地分析功能代表区。随着脑功能成像速度的提高及多学科的合作,有望能更好地探讨交叉迁移的大脑皮质机制。将这种肢体间技能的迁移,作为一种潜在的神经肌肉康复手段,逐渐应用到康复医学、运动医学等领域。

4 结论

本研究通过fMRI技术,观察到单侧主动踝背屈运动时存在双侧大脑皮质多个脑区的激活。主动运动主要伴随运动相关区域的双侧活动,可能对控制对侧力量的区域和机制产生影响。进一步说明,主动运动引起的交叉迁移可能存在大脑皮质机制。本结果为了解脑在控制单侧肢体运动时的功能提供了新的功能形态学依据;为探讨交叉迁移现象的机制,以及进一步将交叉迁移效果应用于临床提供了理论支持。

参考文献

- [1] Munn J, Herbert RD, Gandevia SC. Contralateral effects of unilateral resistance training: a meta-analysis [J]. *Appl Physiol*, 2004, 96:1861—1866.
- [2] Zhou S. Chronic neural adaptation to unilateral exercise: mechanisms of cross education [J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 2000, 28(4): 177—184.
- [3] Enoka RM. Muscle strength and its development. New perspectives. Review [J]. *Sports Medicine*, 1998, 6(3): 46—168.
- [4] 李心天. 中国人的左右利手分布[J]. *心理学报*, 1983, 15(3): 268—275.
- [5] MacIntosh BJ, Mraz R, Baker N, et al. Optimizing the experimental design for ankle dorsiflexion fMRI[J]. *Neuroimage*, 2004, 22(4): 1619—1627.
- [6] Dai TH, Liu JZ, Sahgal V, et al. Relationship between mus-

- cle output and functional MRI-measured brain activation[J]. Experimental Brain Research, 2001,140(3), 290—300.
- [7] Sehm B, Perez MA, Xu B, et al. Functional neuroanatomy of mirroring during a unimanual force generation task[J]. Cerebral Cortex, 2010,20(1), 34—45.
- [8] Boroojerdi B, Ziemann U, Chen R, et al. Mechanisms underlying human motor system plasticity[J]. Muscle Nerve, 2001, 24(5): 602—613.
- [9] R Chen. Interactions between inhibitory and excitatory circuits in the human motor cortex [J]. Exp Brain Res, 2004, 154(1):1—10.
- [10] Schulze K, Luders E, Jancke L. Intermanual transfer in a simple motor task [J]. Cortex, 2002, 38(5):805—815.
- [11] Ziemann U, Ishii K, Borgheresi A, et al. Dissociation of the pathways mediating ipsilateral and contralateral motor-evoked potentials in human hand and arm muscles [J]. Physiol, 1999, 518(3): 895—906.
- [12] Kristeva R, Cheyne D, Deecke L. Neuromagnetic fields accompanying unilateral and bilateral voluntary movements: topography and analysis of cortical sources [J]. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1991, 81: 284—298.
- [13] Hortobágyi T, Taylor JL, Russell G, et al. Changes in segmental and motor cortical output with contralateral muscle contractions and altered sensory inputs in human [J]. Neurophysiol, 2003, 90(4): 2451—2459.
- [14] Cramer SC, Finklestein SP, Schaechter JD, et al. Activation of distinct motor cortex regions during ipsilateral and contralateral finger movements [J]. Neurophysiol, 1999, 81 (1): 383—387.
- [15] Muellbacher W, Facchini S, Boroojerdi B, et al. Changes in motor cortex excitability during ipsilateral hand muscle activation in humans [J]. Clin Neurophysiol, 2000, 111(2): 344—349.
- [16] Strens LH, Fogelson N, Shanahan P, et al. The ipsilateral human motor cortex can functionally compensate for acute contralateral motor cortex dysfunction [J]. Curr Biol, 2003, 13(14): 1201—1205.
- [17] Wessel K, Zeffiro T, Toro C, et al. Self-paced versus metronome paced finger movements: A Positron emission tomography study.[J]. Neuro Imaging,1997,7:145—151.
- [18] Deiber MP, Honda M, Ibanez V, et al. Mesial motor areas in selfinitiated versus externally triggered movements examined with fMRI: effect of movement type and rate [J].Neurophysiol, 1999, 81: 3065—3077.20.
- [19] Thickbroom GW, Byrnes ML, Sacco P, et al. The role of the supplementary motor area in externally timed movement: the influence of predictability of movement timing [J]. Brain Res, 2000, 874: 233—241.
- [20] Cettolo V, Francescato MP, Iniani C, et al. Functional mapping of the motor and primary sensorial cortex using magnetic resonance techniques [J]. Radiol Med Torino, 1996, 92: 548.
- [21] Lee KM, Chang KH, Roh JK. Subregions within the supplementary motor area activated at different stages of movement preparation and execution[J].Neuroimage,1999,9 (1): 117—123.
- [22] Dum RP, Strick PL. Spinal cord terminations of the medial wall motor areas in Macaque monkeys [J]. Neurosci, 1996, 16: 6513—6525.
- [23] Hummelsheim H, Wiesendanger M, Bianchetti M, et al. Further investigations of the efferent linkage of the supplementary motor area (SMA) with the spinal cord in the monkey [J]. Exp Brain Res, 1986; 65(1): 75—82.
- [24] Waldvogel D, van Gelderen P, Muellbacher W, et al. The relative metabolic demand of inhibition and excitation[J]. Nature, 2000,406(6799):995—998.