

基于多模态磁共振的手运动皮层——“手节”的研究进展*

张晶晶 杨智强* 刘 衡*

遵义医科大学附属医院影像科(贵州遵义 563003)

【摘要】人类初级运动皮层(M1)中代表手和手指的皮层区域被称为“手节”，手节被认为是手运动中枢，对手部的自主运动起着至关重要的作用。手节及其周围病变与手功能障碍相关。手节的位置、形态有助于在颅脑影像、外科手术中快速并准确地识别中央前回，因此，本文就手节的定位、形态、功能及与其相关的疾病研究进行综述，旨在通过手节的解剖与功能关系为临床相关疾病的干预和治疗提供参考。

【关键词】手运动皮层；手节；磁共振

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】国家自然科学基金青年基金项目(81901732)；贵州省科技支撑计划(黔科合支撑[2020]4Y122号)；遵义市科技计划项目(遵市科合HZ字[2019]109号)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2022.01.002

Research Progress of Hand Motor Cortex — "Hand Knob" Based on Multimodal Magnetic Resonance*

ZHANG Jing-jing, YANG Zhi-qiang*, LIU Heng*.

Department of Radiology, the Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi 563003, Guizhou Province, China

【Abstract】The area of the human primary motor cortex (M1) that represents the hands and fingers is called the "hand knob". The hand knob is considered the center of hand movement, and it is essential for voluntary hand movement. The pathology of the hand knob and its surroundings is related to hand dysfunction. The position and morphology of the hand segment help to quickly and accurately identify the precentral gyrus in brain imaging and surgical operations. Therefore, this article reviews the location, morphology, function and related diseases of the hand knob. The relationship between the anatomy and function of the hand knob provides reference for the intervention and treatment of clinically related diseases.

Keywords: Hand Motor Cortex; Hand Knob; Magnetic Resonance

人类初级运动皮层(primary motor cortex, M1)位于中央前回，在执行自主运动中起着至关重要的作用。Penfield等^[1]通过术中直接电刺激证明存在于中央前回的人体的体位表征，即所谓的运动小人。手在M1区的表现主要局限于中央前回特定部分，称为“手节”，该区域的病变与手功能障碍相关。手节的形态特征可用于识别中央前回，它形成中央沟的“中膝”，正好位于中央前沟和中央沟的交叉点，在皮层表面可见，是正常和病理条件下识别中央前回的可靠标志，可以快速并准确观察病变与中央前回的关系。因此，本文就手节的定位、形态、功能及与其相关的疾病研究进行综述，旨在通过手

节的解剖与功能关系为临床相关疾病的干预和治疗提供更多的参考。

1 手节的定位与形态

1.1 手节的定位 随着“小人”(“homunculus”)概念^[1]的发展，手运动的皮层表征被认为位于中央前回的上部(图1)。功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)、经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)以及清醒时颅脑肿瘤切除等研究^[2-4]证明手节主要位于中央前回皮层区域。矢状位上手节平均深度约17mm，平均高度约19mm^[2]；轴位上手节平均直径约14mm，右侧手节位于冠状缝线后约(45.1±5.2)mm，外侧距中线约(33.9±3.4)mm；左侧手节位于冠状缝线后约(44.6±5.7)mm，外侧距中线约(33.2±2.5)mm(测量方法见图2)^[5]。精确地定位可以在无框架导航系统或神经导航系统不可用的情况下(例如在创伤环境中或在紧急手术中)向神经外科医生传达关键的解剖学信息，从而有助于颅内病变的定位以及在手术室中放置钻孔。

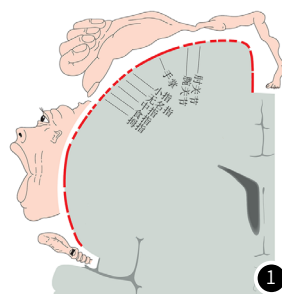


图1 “运动小人”图，即初级运动皮层中控制身体特定部位的地形图。手运动的皮层表征位于初级运动皮层的上部。

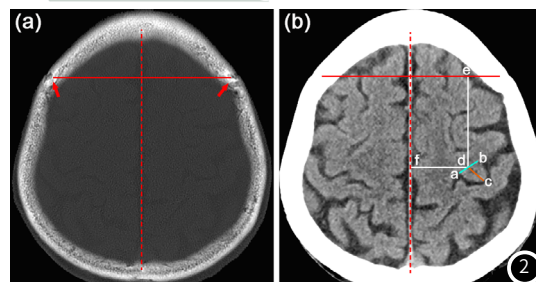


图2 手节在CT上测量方法^[5]。(a) 颅脑CT骨窗：虚线为中线，实线为冠状缝线，箭头所示为冠状缝；(b) 颅脑CT脑窗：线同(a)图，a和b为手节的两个端点，d为ab中点，ab为手节宽度，cd为手节高度；df为手节到中线的距离；de为手节到冠状缝线的距离。

第一作者：张晶晶，女，硕士在读，主要研究方向：神经影像学。

E-mail: Zjjing723@163.com

*通讯作者：刘衡，男，主任医师，主要研究方向：神经影像学。

E-mail: zmcluih@163.com

杨智强，男，副主任医师，主要研究方向：神经影像学。

E-mail: yzqokok@163.com

1.2 手节的形态 手节在CT和MR轴位上呈倒置Ω形(90%)或ω形(10%),在矢状面上呈钩形(92%)^[2]。Ω形手节两端存在两条向前的小裂隙,这些裂隙起源于中央前沟的中膝部;ω形手节存在位于两条裂隙之间的第三条裂隙。Caulo等^[6]研究发现了除Ω形或ω形外,还存在三种手节变异形态:内侧不对称ω形、外侧不对称ω形和null形。ω形手节变异:将ω形手节在视觉上分为相等的3部分,即内侧、中央及外侧,根据第三条裂隙所在部位将ω形手节分为内侧不对称ω形、ω形及外侧不对称ω形;null形手节变异指手节高度低于中央前回皮层厚度。在这5种形状的手节中,最常见的是Ω形,其次是ω形、外侧不对称ω形和内侧不对称ω形, null形出现的频率最低(图3)。

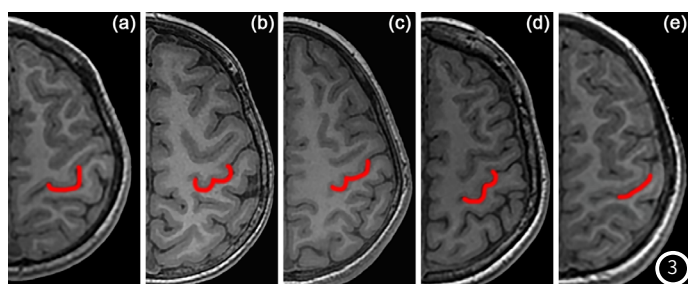


图3 手节形态MRI示意图。红色线条勾勒出手节形态。(a)倒Ω形;(b)ω形;(c)内侧不对称ω形;(d)外侧不对称ω形;(e)null形。

研究还发现男性ω形是女性的两倍,男性大脑半球间不对称性高于女性^[6-7]。手节的形态变异和它们的半球间组合是否能够反映手运动行为的功能差异是未来研究的一个重要的方向。研究证实形态上的差异会导致大脑皮层某些解剖属性的差异,从而与人类行为的改变有关^[8]。因此,是否可以通过手节的形态学改变来判断患者手功能受损程度需要进一步研究数据来证实。

2 手节功能

人类手节的细胞结构学研究显示,手节的吻-尾方向上的不同结构区在手运动中扮演不同的角色^[9-11]。Amiez等^[11]证实了尾侧手节参与手部运动的控制,而吻侧手节参与手部运动的选择(靠近中央沟的区域为尾侧手节;靠近中央前沟的区域为吻侧手节)。使用皮层内微刺激(intracortical microstimulation, ICMS)、细胞结构分析在非人灵长类动物研究中证明不同M1亚区的结构特征在运动控制中起着不同的作用^[12-13]。

M1手节区的吻侧亚区和尾侧亚区可能通过不同的皮质脊髓联系在运动控制中发挥不同的作用。M1的尾部(称“新M1”),包括中央沟的边缘,显示密集的皮层神经元(corticomotoneuronal, CM)投射,而吻部(称“旧M1”)显示很少的CM投射。与这一结构证据相一致的是,这两个区段的ICMS诱发出具有不同特征的兴奋性突触后电位:两个区段都能诱发潜伏期的单突触电位,但只有新的M1区表现出快速的单突触电位^[12]。Vigano等^[14]发现手节内存在皮质兴奋性的非均匀的吻-尾部分布,且尾部的兴奋性明显高于吻部,同时也表明在上肢多关节运动过程中,吻部手节在实现远端和近



张晶晶, 2018年7月在遵义医学院获取学士学位,于2019年9月录取为遵义医科大学硕士研究生,现于遵义医科大学医学影像学院刘衡教授课题组进行学习和研究,主要研究方向:脑发育及脑损伤的多模态MRI研究。目前以共同第一作者发表SCI论文3篇。



杨智强, 副主任医师。2006年在遵义医学院获取学士学位,自2006年-至今,于遵义医科大学附属医院从事影像临床诊断、教学、科研工作,主要擅长儿童神经影像诊断。主持及参与省、市厅级课题3项,获批国家实用新型专利5项,发表论文数篇,其中北图核心2篇。“十三五”医学影像技术学规划教材2部。荣获重庆市卫生局医学科技成果一等奖和二等奖各一项。



刘衡, 博士,主任医师,教授,硕士研究生导师。中国抗癌协会肿瘤影像专业委员会人工智能学组委员、中国药物滥用防治协会成瘾影像学分会委员、中国研究型医院学会神经影像与神经再生学组委员。《中国医学影像技术》、《中国CT和MRI杂志》、《中国医学影像学杂志》编委, *Brain Imaging and Behavior*、*Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*、*Frontiers in Neurology*、*Cancer Imaging*审稿专家。主要研究方向:脑发育及脑损伤的多模态MRI研究。主持国家级、省级科研课题多项,参与国家重点研发计划“数字诊疗装备研发”专项1项。第一作者/通讯作者发表北大核心期刊论文34篇,SCI论文21篇。主编/参编Springer、人民卫生出版社等在内的医学专著10部。参与获得宋庆龄儿科医学奖、贵州省科技进步三等奖。

端肌肉之间的功能协同中起着重要作用。

除了不同的皮质脊髓联系外,这两个部分可能通过不同的皮质-皮质网络起作用。在新大陆猴的整个M1凸面上展开的研究中发现,在吻-尾方向显示了不同的皮质-皮质连接模式:吻侧M1主要与运动前区,特别是背侧运动前区和腹侧运动前区的尾侧部分相连,而尾侧M1主要与躯体感觉皮层相连^[15]。

研究认为,这个手节的形成是由于存在一个连接中央前回和中央后回的隐藏回,称为“额顶叶通道”(pli de passage fronto-parietal moyen, PPFM)^[16-17]。在PPFM存在的情况下,中央沟的中心部分必须折叠到这个部位上,从而形成了手

节。功能成像研究表明,手的运动是沿着手节的轮廓激活,表明这一区域代表了手运动的皮层区^[3,18-19]。正电子发射断层扫描研究^[20]显示,黑猩猩在伸展和抓握任务中,手的对侧半球的手节区域被激活,表明该手节可能代表了该物种手运动区。而且手节的解剖不对称与大体形态、手偏好及技能的个体差异有关^[21-22],这些发现表明手节既代表了手运动区,也可能代表了利手。在灵长类动物进化过程中,随着体积的增大,大脑皮层变得越来越折叠,Hopkins等^[23]研究发现人类和猩猩有很大的PPFM回,表明它们在中央前回和中央后回之间有更大的连接性和感觉-运动整合。对人类而言,这可能反映了人类对双脚站立的适应,从而更多地使用手来使用工具和其他手运动功能。

3 手节与疾病

3.1 卒中 手节区卒中(图4)常常引起孤立性手瘫痪,表现为手指局灶性无力,呈放射状或尺侧分布。这种类型的卒中比较罕见,大约占有缺血性卒中的1%^[24]。关于手节区卒中的文献主要来自于病例报道,最常见的原因是动脉粥样硬化和心源性栓塞^[24-25],但是也有一部分是由于未确定的原因引起的^[26]。经过长期随访,大多数病例都显示出良好的预后,因此手节区卒中被认为是一种良性疾病,其并发症少,功能预后良好。可能与神经元的可塑性有关:小范围的损伤导致手功能控制从受损区域转移到邻近的正常区域。由于预后取决于涉及的卒中机制和危险因素的控制^[27-28],并且手节区卒中引起的孤立性手瘫痪常常与周围神经疾病相混淆,可能导致疾病的延迟诊断,从而失去血运重建治疗以及二级预防治疗的机会。因此,手节区卒中应该进一步重视,尤其在以手部急性起病的运动/感觉障碍患者的周围神经系统疾病鉴别诊断中应考虑到这一种疾病。

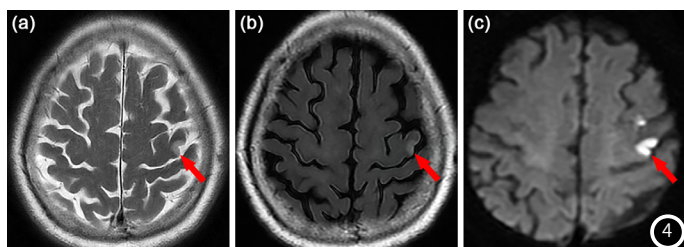


图4 手节与卒中。(a) 颅脑MRI中T₂WI显示左侧手节区高信号(箭头);(b) MRI中FLAIR显示左侧手节区为高信号;(c) MRI中扩散加权像左侧手节区也为高信号。

3.2 肿瘤 脑肿瘤在临床中初步筛查是通过影像学检查,影像学信息对临床外科手术的方案选择有重要参考作用,影像学检查结果也是确保手术成功的基础资料^[29-30]。研究指出,随着肿瘤到初级感觉运动皮层距离的减小,运动障碍呈线性增加^[31-32]。所以,脑肿瘤患者颅内解剖学上变化可能会影响一些功能变化。Liang等^[33]研究发现累及初级运动区的胶质瘤可导致手节的形态学改变,从而导致对侧手的功能障碍,并确定了手节区域的形态学变化与手功能之间的联系,提出手节的宽度、高度和肿瘤到手节的最短距离是术前运动功能损害相关的三个解剖学生物标志物(测量方法见图5),研究表明肿瘤导致手节宽度较窄、高度较小以及肿瘤距手节的距离较短更容易造

成手功能障碍。

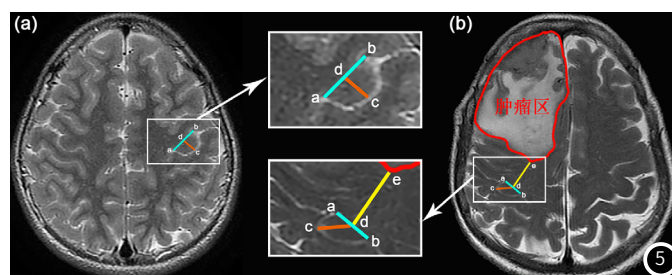


图5 手节与肿瘤。(a) 正常手节形态学:a和b是手节的两个端点,d是a和b的中点,c是手节的顶部;手节宽度为a到b之间的距离,手节高度为c到d之间的距离;(b) 肿瘤到手节的距离测量:e是肿瘤边缘最靠近d的位置,肿瘤到手节的距离为d和e之间的距离。

4 结论与展望

手运动皮层——手节,作为识别中央前回地标性结构,在复杂的脑解剖结构中,通过颅脑影像很容易发现,为影像科医师及神外临床医师在病变定位上提供简捷而又可靠的方法。尽管功能成像技术基于激活区域的对应关系可识别解剖区域,但是大脑皮层的纯解剖结构标志在研究和日常临床实践中仍然是基本且重要的。由于需要配备强大和快速梯度的高场强MR及额外的时间进行数据采集/分析,功能成像并未广泛应用。而手节作为识别中央前回的地标性结构,根据它的特征性形态及位置,可以在常规结构MRI通过简单的形态学特征及线性测量来识别与定位病灶。

手是人类探索及创造世界的重要工具,也是完成信息沟通,进行日常生活的重要载体。对照中国永久性功能障碍分级标准,人的上肢功能占全身功能的60%,手功能则占上肢功能的90%,所以完好的手功能在人们的学习、工作及日常生活中都起着非常重要的作用。手节作为手运动中枢,在手的自主运动中起着至关重要的作用,并且其结构在影像上显而易见。因为解剖学改变可能提示功能改变,所以当病变累及手节相应区域时,可以根据其形态学的变化初步判断是否伴随对应手部的功能改变。运用结构MRI对手节形态学进行定量分析,可以进一步确定手节的形态学变化与手功能障碍之间的关系,达到通过手节形态学改变预测患者手功能障碍及程度,这将为疾病的早期诊断、干预及治疗提供生物学标志。

致谢

张晶晶参与了论文选题、文献资料收集并起草了论文初稿;杨智强老师参与论文选题、完善和修改了论文;刘衡教授指导了论文选题、提出修改意见并审阅论文。感谢蒋昊翔老师、杨阳、胡杰、杨艳丽对本论文提出的修改建议。感谢国家自然科学基金青年科学基金项目、贵州省科技支撑计划、遵义市科技计划项目提供经费支持。

参考文献

- [1] Penfield W, Boldrey E. Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation[J]. Brain, 1937, 60 (4): 389-443.

- [2] Yousry T, Schmid U, Alkadhi H, et al. Localization of the motor hand area to a knob on the precentral gyrus. A new landmark[J]. Brain, 1997, 120 (Pt1): 141-157.
- [3] Boroojerdi B, Foltys H, Krings T, et al. Localization of the motor hand area using transcranial magnetic stimulation and functional magnetic resonance imaging[J]. Clin Neurophysiol, 1999, 110 (4): 699-704.
- [4] Shinoura N, Suzuki Y, Yamada R, et al. Precentral knob corresponds to the primary motor and premotor area[J]. Can J Neurol Sci, 2009, 36 (2): 227-233.
- [5] Park M C, Goldman M A, Park M J, et al. Neuroanatomical localization of the 'precentral knob' with computed tomography imaging[J]. Stereotact Funct Neurosurg, 2007, 85 (4): 158-161.
- [6] Caulo M, Briganti C, Mattei P, et al. New morphologic variants of the hand motor cortex as seen with MR imaging in a large study population[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2007, 28 (8): 1480-1485.
- [7] Blanton R, Levitt J, Thompson P, et al. Mapping cortical asymmetry and complexity patterns in normal children[J]. Psychiatry research, 2001, 107 (1): 29-43.
- [8] Witelson S, Beresh H, Kigar D. Intelligence and brain size in 100 postmortem brains: Sex, lateralization and age factors[J]. Brain 2006, 129: 386-398.
- [9] Bastiani M, Oros-Peusquens A, Seehaus A, et al. Ex vivo Automatic segmentation of human cortical layer-complexes and architectural areas using diffusion MRI and its validation[J]. Front Neurosci, 2016, 10: 487.
- [10] Glasser M, Coalson T, Robinson E, et al. A multi-modal parcellation of human cerebral cortex[J]. Nature, 2016, 536 (7615): 171-178.
- [11] Amiez C, Petrides M. Functional rostro-caudal gradient in the human posterior lateral frontal cortex[J]. Brain Struct Funct, 2018, 223 (3): 1487-1499.
- [12] Witham C, Fisher K, Edgley S, et al. Corticospinal inputs to primate motoneurons innervating the forelimb from two divisions of primary motor cortex and area 3a[J]. J Neurosci, 2016, 36 (9): 2605-2616.
- [13] Rathelot J, Strick P. Subdivisions of primary motor cortex based on cortico-motoneuronal cells[J]. Proc Natl Acad Sci U S A, 2009, 106 (3): 918-923.
- [14] Vigano L, Fornia L, Rossi M, et al. Anatomic-functional characterisation of the human "hand-knob": A direct electrophysiological study[J]. Cortex, 2019, 113: 239-254.
- [15] Dea M, Hamadjida A, Elgbeili G, et al. Different patterns of cortical inputs to subregions of the primary motor cortex hand representation in cebus apella[J]. Cereb Cortex, 2016, 26 (4): 1747-1761.
- [16] Boling W, Olivier A, Bittar R, et al. Localization of hand motor activation in Broca's pli de passage moyen[J]. J Neurosurg, 1999, 91 (6): 903-910.
- [17] Alkadhi H, Kollias S. Pli de passage fronto-pariétal moyen of broca separates the motor homunculus[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2004, 25 (5): 809-812.
- [18] Pizzella V, Tecchio F, Romani G, et al. Functional localization of the sensory hand area with respect to the motor central gyrus knob[J]. Neuroreport, 1999, 10 (18): 3809-3814.
- [19] Sastre-Janer F, Regis J, Belin P, et al. Three-dimensional reconstruction of the human central sulcus reveals a morphological correlate of the hand area[J]. Cereb Cortex, 1998, 8 (7): 641-647.
- [20] Hopkins W, Taglialetela J, Russell J, et al. Cortical representation of lateralized grasping in chimpanzees (Pan troglodytes): A combined MRI and PET study[J]. PLoS One, 2010, 5 (10): e13383.
- [21] Li L, Preuss T, Rilling J, et al. Chimpanzee (Pan troglodytes) precentral corticospinal system asymmetry and handedness: A diffusion magnetic resonance imaging study[J]. PLoS One, 2010, 5 (9): e12886.
- [22] Klöppel S, Mangin J, Vongersichten A, et al. Nurture versus nature: long-term impact of forced right-handedness on structure of pericentral cortex and basal ganglia[J]. J Neurosci, 2010, 30 (9): 3271-3275.
- [23] Hopkins W, Meguerditchian A, Coulon O, et al. Evolution of the central sulcus morphology in primates[J]. Brain, 2014, 84 (1): 19-30.
- [24] Peters N, Müller-Schunk S, Freilinger T, et al. Ischemic stroke of the cortical "hand knob" area: Stroke mechanisms and prognosis[J]. J Neurol, 2009, 256 (7): 1146-1151.
- [25] Orosz P, Szcs I, Rudas G, et al. Cortical Hand Knob Stroke: Report of 25 Cases[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2018, 27 (7): 1949-1955.
- [26] Rankin E, Rayessa R, Keir S. Pseudoperipheral palsy due to cortical infarction[J]. Age Ageing, 2009, 38 (5): 623-624.
- [27] 郭莺. 进展性脑梗死高危因素分析[J]. 罕少疾病杂志, 2018, 26 (5): 7-8.
- [28] 岑礼燕, 罗中兴. 短暂性脑缺血发作后30天内卒中的危险因素分析[J]. 罕少疾病杂志, 2020, 27 (1): 40-42.
- [29] 龙春琴, 周志强, 贺文俊, 等. CT联合MRI检查在脑胶质瘤术前诊断中的应用研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18 (1): 9-11, 21.
- [30] 张格, 陈旺生, 陈峰, 等. 磁共振多模态影像在脑胶质瘤诊断及分级中的应用效果分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18 (1): 44-47.
- [31] Tuntiyatorn L, Wuttiplakorn L, Laohawiriyakamol K. Plasticity of the motor cortex in patients with brain tumors and arteriovenous malformations: A functional MR study[J]. J Med Assoc Thai, 2011, 94 (9): 1134-1140.
- [32] Wood J M, Kundu B, Utter A, et al. Impact of brain tumor location on morbidity and mortality: A retrospective functional MR imaging study[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2011, 32 (8): 1420-1425.
- [33] Liang J S, Fang S Y, Fan X, et al. Morphometry of the hand knob region and motor function change in eloquent area glioma patients[J]. Clin Neuroradiol, 2019, 29 (2): 243-251.

(收稿日期: 2021-04-05)