

# 医学成像技术在腧穴研究中的应用概况与展望

丁宁 姜婧 胡嘉同 刘潇潇 秦萍萍 王巧侠 许艺元 李志刚

**【摘要】** 医学成像技术很好地满足了腧穴研究中普遍存在的客观化、可视化需要,极大地推动与深化了腧穴有关研究。文章从活体光学成像、X 线计算机断层成像、超声成像、放射性核素成像、核磁共振成像、红外热成像六个方面入手,结合腧穴研究中的关键科学问题,对医学成像技术在腧穴研究中的应用情况进行了概述。文献回顾表明,医学成像技术在阐释腧穴作用及其相关配伍的中枢与外周机制、论证腧穴特异性及其机制、探讨腧穴主治的中枢与外周基础、深化腧穴解剖结构及安全性研究、促进腧穴定位研究等方面具有重要意义。针对有关研究存在的成像技术缺乏合理与深度运用、对腧穴的动态性与整体性有所忽略、细胞与分子水平成像相对缺乏的三方面不足,未来研究应进一步促进成像技术升级与合理运用,完善基于腧穴特性的科研设计及其标准化,借助分子影像学技术将腧穴基础研究推进至细胞分子水平。

**【关键词】** 腧穴; 医学成像技术; 应用概况; 展望

**【中图分类号】** R245 **【文献标识码】** A doi:10.3969/j.issn.1674-1749.2017.09.037

**Application situation and prospect of medical imaging techniques in research of acupoint** DING Ning, JIANG Jing, HU Jiatong, et al. School of Acupuncture-Moxibustion and Tuina, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 10029, China

Corresponding author: LI Zhigang, E-mail: lizhigang620@126.com

**【Abstract】** Medical imaging techniques fully satisfy the objective and visual requirements in the research of acupoint, and thus produce a vital thrust to research of acupoint. Combined with key scientific problems in research of acupoint, this paper describes application situation of medical imaging techniques from 6 aspects, optical imaging in vivo, X-ray computed tomography, ultrasonic imaging, radionuclide imaging, nuclear magnetic resonance imaging and infrared thermal imaging. The review of the literature showed that medical imaging techniques have deep meaning in explanation of central and peripheral mechanisms of acupoint's function and combinations, argument for specificity of acupoint, debating on indications of acupoint and its central and peripheral mechanisms, deepening anatomical structure and safety of acupoint, promoting location of acupoint. The current researches have many defects on application of imaging techniques and neglect characteristics of acupoint. In addition, debates on cell and molecular level are relatively inadequate. Confronted with such problems, future research should promote the upgrading and rational use of imaging technology, improve the scientific design and standards based on the characteristics of acupoints, with the help of molecular imaging technology to promote acupoints into cell molecular level.

**【Key words】** Acupoint; Medical imaging techniques; Application situation; Prospect

基金项目: 国家自然科学基金(81590952)

作者单位: 100029 北京中医药大学针灸推拿学院[丁宁(博士研究生)、胡嘉同(硕士研究生)、刘潇潇(硕士研究生)、秦萍萍(硕士研究生)、王巧侠(硕士研究生)、许艺元(硕士研究生)、李志刚];北京中医药大学护理学院(姜婧)

作者简介: 丁宁(1990-), 2016 级在读博士研究生。研究方向: 腧穴敏化的成像研究。E-mail: fls221@sina.com

通信作者: 李志刚(1965-), 博士, 教授, 博士生导师。研究方向: 针刺手法及针刺干预中枢神经损伤机理。E-mail: lizhigang620@126.com

腧穴作为诊察与治疗疾病的特殊部位,不仅是针灸学理论基础和临床诊疗的关键所在,也是本学科科学研究的核心与热点。近年来腧穴有关研究不断深入推进,在腧穴特异性、腧穴作用及配伍机制、腧穴解剖结构等方面取得了一系列重要成果<sup>[1-3]</sup>,引起了国内外学者的广泛关注。这在一定程度上得益于医学成像技术在腧穴研究中的广泛应用,其不仅很好地满足了腧穴研究中普遍存在的客观化、可视化需要,同时功能性成像技术为腧穴研究构建了新的平台,极大地推动与深化了腧穴有关研究。

随着医学影像技术不断向实时、动态、立体、功能等方向发展<sup>[4]</sup>,未来必将进一步助力腧穴研究的全面与深入开展。因此对医学成像技术在腧穴研究中的既有应用进行梳理,对于促进医学成像技术的合理与深度运用,总结与完善有关经验和方法,实现腧穴研究的飞跃发展具有重要意义。本文通过对有关文献的回顾,旨在对医学成像技术在腧穴研究中的应用概况做一小结,并不吝拙见提出几点展望,以期对未来有关研究提供有益帮助,敬请批评指正。

## 1 医学成像技术在腧穴研究中的应用概况

医学成像技术旨在借助某种介质与生物体的相互作用,从而对内部组织的形态结构与功能等信息进行提取,并将其转变为图像显示出来,在现代临床诊疗与科研中扮演重要角色。当前应用于腧穴研究中的医学成像技术主要包括活体光学成像(optical imaging in vivo, OI)、X 线计算机断层成像(X-ray computed tomography, X-CT)、超声成像(ultrasonic imaging, UI)、放射性核素成像(radionuclide imaging, RI)、核磁共振成像(nuclear magnetic resonance imaging, MRI)、红外热成像(infrared thermal imaging, ITI)等。

### 1.1 OI

光学成像包含极为广泛,其中 OI 是目前腧穴研究中的应用的主要光学成像技术之一。其主要采用生物发光或荧光技术标记细胞、蛋白质或 DNA,借助高灵敏度的光学检测仪器显示活体动物体内的发光部位与强度,进而实现在活体水平连续动态对细胞活动、蛋白质表达及基因行为的直接检测。该技术不仅具有极高的灵敏度<sup>[5]</sup>,且操作简单安全、结果直观。然而较之于该技术在中药研究中的广泛运用<sup>[6-7]</sup>,其在腧穴研究中的应用尚处在初期阶段且多集中在腧穴作用机制研究方面。张栋等<sup>[8]</sup>运用小动物多光谱活体成像系统对荧光药物在体

内的分布及针刺对其的影响进行观察,结果表明针刺裸鼠腰阳关穴能够影响有关药物在体内的重新分布,认为药物靶向作用的调整与建立有可能是针灸的一种功能;其团队<sup>[9]</sup>进一步联合运用激光散斑灌注成像及基于吲哚菁绿的活体光学成像技术对酒精性肝损伤模型大鼠肝脏微循环进行实时监测,结果表明电针双侧足三里穴能够显著扭转肝脏微循环灌注及吲哚菁绿代谢减低的病理状态,显示该平台能够有效的对电针作用进行显像。

### 1.2 X-CT

X-CT 技术是基于体层内 X 线的吸收分布情况,利用计算机技术以 CT 值的形式对人体组织结构进行显像。其有效解决了 X 线成像中的影像重叠问题,并具有一定的量化概念及很高的密度分辨率,能够清楚显示任意部位的断层解剖影像。X-CT 技术作为解剖成像的主要手段,能够获得刺入腧穴内针体的横断面影像,进而对针体经过、到达及与周围有关组织的相对位置关系进行分析。因此,X-CT 技术在腧穴的实体解剖学研究中应用广泛,并在此基础上涉及腧穴安全性、腧穴定位研究等。葛路岩等<sup>[10]</sup>对芒针深刺中脘穴的针体实际运行途径,刘志顺等<sup>[11]</sup>对深刺天枢穴的理想深度与安全性,黄仕荣等<sup>[12]</sup>对针刺腰突穴的安全深度与角度, Groenemeyer DH 等<sup>[13]</sup>对大肠俞与关元俞的效应层次与针尖位置等问题进行了深入探讨,为临床实际操作及有关机理研究提供了有益借鉴与启发。在腧穴定位研究方面,汪荣等<sup>[14]</sup>研究基于对腧穴相关区域的人体 CT 扫描结果,通过原始图像数据的三维重建对次髂穴的相关径线与角度进行统计分析,提出了次髂穴的坐标定位法并探讨了该穴的针刺深度与角度。

### 1.3 UI

UI 技术是通过接收生物体内对由外部发射超声所形成的回波,并经信号处理后实现客观成像。该技术可以提供人体断面的实时动态图像,并具有无损、可连续、无电离辐射等优势。同时基于超声多普勒系统,可以完成各种血流参量的测量,临床应用极为广泛。UI 技术在腧穴研究中主要应用于腧穴主治、腧穴解剖结构、腧穴作用及其配伍机制研究中。Wang S 等<sup>[15]</sup>运用超声心动图技术实现了针刺内关穴对心肌缺血模型大鼠治疗作用的可视化评价,结果显示针刺后针刺组平均舒张末期内径及收缩末左室内径较之模型组显著降低,射血分数及每搏输出量等指标显著升高,表明针刺能够增加

左室舒张和收缩功能;高晓瑜等<sup>[16]</sup>通过彩色多普勒超声显示针刺委中穴能够显著加快输尿管膀胱开口处喷尿频率并增加膀胱容积,且能获得针刺得气的效应层次。这些研究促进了相关腧穴主治及作用机制的可视化,同时对于客观量化针刺效应及其起效深度具有一定价值。在腧穴解剖结构及安全性研究方面,高晓瑜等<sup>[17]</sup>通过高频超声对奇穴颈臂穴的局部解剖结构进行观察,结果表明锁骨中点上取穴点既较安全又可获得满意针感。就腧穴作用及其配伍机制研究而言,研究多借助经颅多普勒及其他超声技术对针刺引发的血流动力学变化进行监测,以探讨腧穴作用机制。Takayama S 等<sup>[18]</sup>研究表明针刺双侧太冲穴后桡动脉和肱动脉血流量增加,全身血管阻力指数显著降低;程为平等<sup>[19]</sup>研究指出针刺左侧飞扬穴对双侧大脑中动脉的血流动力学有负性影响。就腧穴配伍机制而言,孙健等<sup>[20]</sup>研究显示针刺经穴、夹脊穴及二者配伍穴组均能提升椎—基底动脉收缩期血流速度但组间差异不明显,表明经穴与夹脊穴组间在即刻效应上不存在协同或拮抗作用。

#### 1.4 RI

RI 技术是通过摄入生物体内的放射性核素所放出的射线进行追踪探查,借助计算机技术对有关脏器形态及其功能进行成像。其中正电子发射型计算机断层显像(positron emission computed tomography, PET)的检测对象是注入生物体内的正电子放射性核素在衰变中产生的射线对,单光子发射计算机断层显像(single photon emission computed tomography, SPECT)则利用的是发射  $\gamma$  射线的放射性核素。PET 技术具有图像质量好、定位精准、信息整体性强、灵敏度高、优势, SPECT 技术则具有辐射剂量小、示踪剂适应面广等特点。二者作为脑功能成像的优势技术,广泛应用于腧穴作用及配伍机制、腧穴主治、腧穴特异性研究等方面。以外关穴为例,刘恩涛等<sup>[21]</sup> PET 研究发现针刺健康人右侧外关穴较之非穴能够特异的激活左侧小脑前叶和右侧小脑后叶;同时孙翌等<sup>[22]</sup> PET 研究显示针刺脑梗塞患者外关穴能够激活大脑、小脑及丘脑的多个脑区;此外袁俊波等<sup>[23]</sup> SPECT 研究表明针刺健康人右侧外关穴能够引起左侧顶叶中央后回、尾状核、豆状核及右侧额下回等多个脑区的相对特异性激活。这些针刺外关穴所激活的脑区多与躯体运动及感觉、语言、听觉、情感有关,与外关穴的功效主治密切相关,在一定程度上阐释了外关穴治疗效应及其

主治的中枢机制与基础。在腧穴特异性研究方面,基于阿尔茨海默病模型大鼠, Lai X 等<sup>[24]</sup> PET 研究指出针刺左侧神门穴较之非穴对海马、丘脑等脑区的葡萄糖代谢具有更好的良性调节作用; Lu Y 等<sup>[25]</sup> PET 研究表明针刺双侧足三里穴较之非穴能够更有效地激活双侧杏仁核和左侧颞叶;黄泳等<sup>[26]</sup> SPECT 研究显示针刺健康人外关穴与非穴虽然在激活脑区上有一定重合,但针刺外关穴在多个脑区较之非穴呈负激活状态。此外,黄泳等<sup>[27]</sup> 针对血管性痴呆患者的 PET 及 SPECT 研究表明针刺神门穴与顶叶及尾核具有相对特异的对应关系;赖新生等<sup>[28]</sup> 研究显示针刺百会穴能够相对特异地作用于各脑叶和小脑,显著提升其葡萄糖代谢及血流量。这些研究表明经穴与非穴、不同经穴间的腧穴特异性具有一定的中枢基础。就腧穴配伍机制而言, Huang Y 等<sup>[29]</sup> 开展的一项对血管性痴呆患者的 PET 及 SPECT 研究表明在针刺常规穴位的基础上配伍水沟及神门穴则分别能够显著改善执行及记忆能力,同时水沟、神门及百会穴共同配伍则能更为广泛地影响与智力活动相关的脑区,表明腧穴的不同配伍在中枢功能层面确存在一定机制差异。

#### 1.5 MRI

MRI 技术的主要原理是基于人体中的氢原子核在磁场中受到射频脉冲激励而发生核磁共振现象,通过检测生物组织中原子核的磁共振信号并经计算机重构以成像。MRI 技术具有较高的软组织分辨率及无损、直接多方位成像等优势,主要应用于腧穴的解剖结构研究中。通过对相关穴位进行体表标记,李晓陵等<sup>[30]</sup> 对缺盆穴、闫禹竹等<sup>[31]</sup> 对膈俞穴的精准解剖定位及针刺的危险与安全深度进行了实测,并探讨了男女两性及不同体型间所存在的差异,深化了腧穴的解剖结构研究。同时功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)技术可以直接实时的对脑功能变化信息进行可视化显示,时间及空间分辨率均较高。fMRI 技术开辟了从中枢功能入手研究腧穴的全新领域,广泛应用于腧穴作用及配伍机制、腧穴主治、腧穴特异性研究。Deng D 等<sup>[32]</sup> 基于非重复事件相关范式的有关研究表明针刺健康人百会穴能够增加眶额皮层、扣带回中部等脑区的局部一致性值,而前扣带皮层、辅助运动区等脑区则呈现下降,同时这些脑区的功能变化均与百会穴主治有一定联系;Chen S 等<sup>[33]</sup> 开展的一项事件相关模式的静息态研究显示针刺太溪穴能够激活与认知功能有关的脑区。这



些研究从中枢功能层面探讨了有关腧穴作用及其主治的中枢机制与基础。在腧穴特异性方面, Claunch JD 等<sup>[34]</sup>研究指出针刺治疗疼痛的常用经穴合谷、足三里与太冲穴; Kong SP 等<sup>[35]</sup>研究指出合谷与颊车穴所激活的脑区虽一定程度重叠相邻,但在主要应答脑区、激活范围等方面存在一定差异。同时鲁娜等<sup>[36]</sup>研究显示针刺太冲及中都穴能够引起相同脑区的激活,但又各自具有相对特异的激活脑区; Bai L 等<sup>[37]</sup>研究亦表明针刺内关及大陵穴虽均能激活边缘和旁边缘小脑和皮层下区,但在激活程度及范围上存在一定差异;此外, Shan Y 等<sup>[38]</sup>研究指出针刺四关穴、Na BJ 等<sup>[39]</sup>研究指出阳陵泉穴对相关脑区的激活较之非穴更为广泛而特异,这些研究从不同经穴、同经异穴、经穴与非穴三个方面探讨了腧穴特异性的中枢机制。就腧穴配伍机制而言,陈俊琦等<sup>[40]</sup>研究指出针刺外关配伍内关穴较之单纯针刺外关穴在相关脑区的激活点数及几率上差异显著;同时 Liu L 等<sup>[41]</sup>研究显示针刺足三里及阳陵泉穴对多个脑区局部一致性值的影响较之分别针刺单穴显著,表明腧穴的配伍确能更为广泛、有效的激活有关脑区。

### 1.6 ITI

ITI 技术是通过对生物体的红外能量探测,经数据处理分析与转换形成红外热图像。该技术基于对温度变化的定量分析,以反映生物体的生理改变及新陈代谢进程,具有实时动态、全面系统及安全无损等优势,主要应用于腧穴作用机制、腧穴特异性、腧穴病理反应等研究中。宋晓晶等<sup>[42]</sup>研究表明分别针刺周围性面神经麻痹患者光明及合谷穴后,眼区与口区温度较之其他区域显著升高;同时 Guan L 等<sup>[43]</sup>研究显示艾灸合谷穴亦能显著提升周围性面神经麻痹患者口唇周围温度,表明促进有关区域血液循环及新陈代谢可能是相关腧穴的作用机制之一。就腧穴特异性而言,岑珏等<sup>[44]</sup>研究表明膀胱过度活动症患者中极穴红外辐射温度显著高于健康人中极穴,而中脘及内关等无关腧穴则无显著变化;同时沈雪勇等<sup>[45]</sup>研究指出家兔死亡即刻内关穴的红外温度显著高于非穴对照点,而这种差异在生理状态及死亡后则不显著;此外 Yang Y 等<sup>[46]</sup>研究显示艾灸健康人的足三里及合谷穴均能够显著提升鼻周、唇周温度,但在升温范围及幅度上二穴有所差别。这些研究表明经穴与非穴、不同经穴间在腧穴敏化及作用特点上存在差异,且热敏化腧穴具有一定的疾病特异性。在腧穴病理反应方面,郝娜

等<sup>[47]</sup>研究显示慢性乙肝患者双侧中都、三阴交及复溜等穴的相对温度(穴位温度/同侧腋下温度)显著高于健康对照组;高允海等<sup>[48]</sup>研究指出慢性胆囊炎患者双侧日月、胆俞及阳陵泉穴红外温度显著高于健康对照组,且双侧日月穴温度存在异常的显著差异,表明疾病状态下特定腧穴的红外温度出现显著变化,并存在双侧温度失衡的病理改变。

以上六部分文献回顾表明医学成像技术已广泛应用于腧穴研究的各个方面,取得了一系列成果,具体可以归纳为:(1)阐释了有关腧穴的作用及其相关配伍的中枢与外周机制;(2)从不同经穴、同经异穴、经穴与非穴等角度论证了腧穴的特异性及其机制;(3)探讨了腧穴主治的中枢与外周基础;(4)深化了腧穴解剖结构及安全性研究;(5)促进了腧穴定位的规范化与准确性。

## 2 思考与展望

由于各种客观条件的限制及腧穴研究与成像技术本身所具有的某些特殊性、局限性,使得有关研究在成像技术的运用、对腧穴特性的关注及细胞分子水平的探讨等方面存在一定的缺陷与不足,制约了腧穴研究的深度和广度,未来研究中应注意如下几点。

### 2.1 聚焦成像技术研究最新进展,实现技术融合升级及合理与深度运用

近年来成像技术经历了飞速发展,一方面新的成像技术不断涌现出来,如成像分辨率及深度能够满足从亚细胞结构、细胞、直到组织器官等多尺度成像要求的光声成像技术<sup>[49]</sup>;另一方面既有成像技术亦取得了长足的进步,如显微 CT、纳米 CT 等具有更高空间分辨率的 CT 成像技术得以建立,其中 2D 纳米 CT 分辨率已达 12 ~ 15 nm<sup>[50]</sup>。同时成像技术的深度融合弥补了既有技术的不足,已广泛应用于临床实践,如 PET/CT、PET/MRI 等。这些新技术、新手段无疑为进一步深入开展有关的腧穴可视化研究提供了坚实基础与有效平台,必将促进腧穴研究思路的转变与升级。

然而当前研究一方面鲜有引入国际先进显像技术,同时亦缺乏对一些既有显像技术的合理与深度运用,如 fMRI 研究中对基线的合理选择<sup>[51]</sup>、静息态 fMRI 研究相对不足<sup>[52]</sup>等。因此在未来的腧穴研究中,理应密切关注成像技术的研究进展,加强方法学研究,促进成像技术手段融合升级。同时积极深入发掘有关成像技术,充分了解有关技术的局限

与优势,促进成像技术的结构优化、合理配置及深度运用。

## 2.2 注重腧穴的动态性与整体性,促进有关科研设计的完善及标准化

腧穴作为神气游行出入之所,其始终处于动态变化之中。腧穴的大小及功能都不是一成不变的静态状态,而是一个动态变化的过程<sup>[53]</sup>;同时腧穴的治疗作用是建立在对人体整体功能调节的基础上<sup>[54]</sup>。因此就腧穴研究中的任何科学问题而言,理应将腧穴的动态属性及其作用的整体性前置于科研设计之前加以充分考虑。那种忽略腧穴在功能和形态上的动态变化属性或将研究视野仅停留在某一脏器的做法上是孤立和片面的,难以全面与系统的阐明有关科学问题。此外当前有关研究存在标准不统一、实验设计依据不同等问题,使得难以对相关结果进行同一水平的比较与总结,极大地制约了腧穴研究的发展与统筹。

客观成像技术作为腧穴研究中客观化、可视化的关键手段,在未来研究中对其选择与应用理应注重腧穴的固有特性,明确并坚持腧穴自身特性的科研价值与指导地位。推动腧穴显像研究重心向腧穴自身回归,并实现腧穴研究由局部到整体、由静态到动态的质变。同时有必要在兼顾腧穴自身特性的前提下,参照中医学科研工作的一般规律与有益经验,构建科学合理统一的方法学平台,促进科研设计的完善与标准化。

## 2.3 借助分子影像学技术,将腧穴基础研究推进至细胞及分子水平

当前客观显像技术在腧穴基础研究中仍处于次要地位,一般仅提供可视化数据以辅助说明有关机制且多局限于组织层面。作为在既往研究手段、内容、思维上的有力补充,客观显像技术在腧穴基础研究中的重要价值及其所蕴含的丰富科学内容尚未得到普遍认识与深刻理解,在科研理念和实际应用上均滞后于影像学前沿。

本世纪以来医学成像技术已从解剖及功能成像快速向分子成像发展,逐步形成了分子影像学这一全新学科,受到了医学界、生物学的广泛关注。分子影像学主要是应用核素、核磁共振、光学及超声成像等方法,在活体条件下直接或间接监控和记录细胞及分子事件时间和空间分布,进行细胞和分子水平的定性和定量研究。其优势在于能够实时对同一机体进行纵向动态观察,并在分子、细胞水平研究疾病的发生、发展与转归;同时并非针对最

终的分子结果,而聚焦于活体分子的细胞行为与过程。该技术很好地满足与顺应了腧穴研究的深层次需要与发展趋势,充分体现了腧穴的动态性、整体性特点,必将在腧穴的基础研究中发挥重要引领作用。未来研究应抓住分子影像学快速发展的有利时机,进一步聚焦腧穴基础研究中的关键问题,实现腧穴在组织、细胞、分子水平的全面可视化,将腧穴基础研究推进至细胞及分子水平。

## 参 考 文 献

- [1] 马鼎,孟智宏. 经络腧穴特异性研究进展[J]. 针灸临床杂志, 2014,30(12):65-68.
- [2] 李鑫举,陈波,郭义,等. 腧穴配伍机制研究进展[J]. 辽宁中医杂志,2015,42(11):2254-2256.
- [3] 魏海燕,赵玲,张海蒙,等. 2012 年腧穴研究进展概况[J]. 吉林中医药,2014,34(5):536-540.
- [4] 丁红军,邢克礼. 医学成像技术的进展[J]. 医疗卫生装备, 2006,27(11):22-23,26.
- [5] Ji X, Cheng L, Wei F, et al. Noninvasive visualization of retinoblastoma growth and metastasis via bioluminescence imaging[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci,2009,50(12):5544-5551.
- [6] 孙永,王耘,周静,等. 利用活体成像技术检测姜黄素药物组织分布的方法探索[J]. 南京中医药大学学报,2011,27(6):539-541.
- [7] 游敏玲,罗满芳,廖蔚茜,等. 柴芪益肝颗粒联合紫杉醇抑制裸鼠肝癌生长的在体成像研究[J]. 南方医科大学学报, 2012,32(7):1042-1045.
- [8] 张栋,彭作富,马惠敏,等. 活体体内光学成像技术在针灸研究中的初步应用[J]. 中国针灸,2009,29(12):993-997.
- [9] Zhang D, Song XJ, Li SY, et al. Evaluation of liver function and electroacupuncture efficacy of animals with alcoholic liver injury by the novel imaging methods[J]. Sci Rep,2016,6:30119.
- [10] 葛路岩,张冰,薛银萍. CT 扫描在芒针深刺中腕穴所经路径观察中的应用[J]. 针刺研究,2006,31(4):244-245.
- [11] 刘志顺,段锦绣,杨德莉,等. CT 直视下个体化深刺天枢操作规范 and 安全性评价[J]. 中国针灸,2011,31(2):131-133.
- [12] 黄仕荣,林其雄,汤骏,等. 腰突穴针刺深度 CT 扫描定位研究[J]. 中国针灸,2006,26(9):635-638.
- [13] Groenemeyer DH, Zhang L, Schirp S, et al. Localization of acupuncture points BL25 and BL26 using computed tomography[J]. J Altern Complement Med,2009,15(12):1285-1291.
- [14] 汪荣,宋岩峰,张文举,等. 基于 CT 三维重建的女性次髂穴定位研究[J]. 针刺研究,2010,35(4):307-310.
- [15] Wang S, Ren L, Jia L, et al. Effect of acupuncture at Neiguan (PC 6) on cardiac function using echocardiography in myocardial ischemia rats induced by isoproterenol[J]. J Tradit Chin Med, 2015,35(6):653-658.
- [16] 高晓瑜,潘兴芳,刘梦堃,等. 针刺委中穴对排尿功能影响的超声观察[J]. 中国医学影像技术,2010,26(9):1735-1737.
- [17] 高晓瑜,刘梦堃,潘兴芳,等. 彩色多普勒超声对针刺“颈臂穴”的临床观察[J]. 中国医学影像技术,2009,25(12):2258-2260.
- [18] Takayama S, Seki T, Watanabe M, et al. Brief effect of acupuncture on the peripheral arterial system of the upper limb

- and systemic hemodynamics in humans[J]. *Journal of Alternative & Complementary Medicine*, 2010, 16(16):707-713.
- [19] 程为平, 张安邦, 何微, 等. 针刺左侧飞扬穴对健康青年大脑中动脉血流动力学的影响[J]. *针灸临床杂志*, 2012, 28(5):33-35.
- [20] 孙健, 单秋华, 陈新勇. 不同穴位对椎-基底动脉供血不足的协同或拮抗作用研究[J]. *中国针灸*, 2005, 25(9):633-635.
- [21] 刘恩涛, 王淑侠, 赖新生, 等. 针刺外关穴对小脑响应机制的<sup>18</sup>F-FDG PET 脑功能成像研究[J]. *上海针灸杂志*, 2012, 31(7):453-456.
- [22] 孙翌, 赖新生, 沈巍. 运用 PET 脑功能成像对针刺脑梗塞患者外关穴的研究[J]. *时珍国医国药*, 2012, 23(12):3145-3147.
- [23] 袁俊波, 李宏霞, 王朝强, 等. 运用 SPECT 脑功能成像技术研究针刺外关穴对脑功能区的激活效应[J]. *辽宁中医杂志*, 2009, 36(2):161-163.
- [24] Lai X, Ren J, Lu Y, et al. Effects of acupuncture at HT7 on glucose metabolism in a rat model of Alzheimer's disease: an <sup>18</sup>F-FDG-PET study[J]. *Acupunct Med*, 2016, 34(3):215-222.
- [25] Lu Y, Huang Y, Tang C, et al. Brain areas involved in the acupuncture treatment of AD model rats: a PET study[J]. *BMC Complement Altern Med*, 2014, 14(1):1-8.
- [26] 黄泳, 李赣龙, 唐纯志, 等. 针刺外关穴和非穴 SPECT 脑功能成像的比较研究[J]. *成都中医药大学学报*, 2008, 31(2):3-7.
- [27] 黄泳, 赖新生, 唐安戊, 等. 针刺神门穴的相对特异性作用的脑功能成像研究[J]. *成都中医药大学学报*, 2007, 30(3):6-9.
- [28] 赖新生, 黄泳, 唐安戊, 等. 病理状态下针刺百会穴对脑功能成像特征的影响[J]. *广州中医药大学学报*, 2008, 25(5):410-413.
- [29] Huang Y, Lai XS, Tang AW. Comparative study of the specificities of needling acupoints DU20, DU26 and HT7 in intervening vascular dementia in different areas in the brain on the basis of scale assessment and cerebral functional imaging[J]. *Chin J Integr Med*, 2007, 13(2):103-108.
- [30] 李晓陵, 张帆, 关昕, 等. 应用 MRI 测量针刺缺盆穴安全深度研究[J]. *针灸临床杂志*, 2016, 32(1):41-43.
- [31] 闫禹竹, 程为平. 应用 MRI 观察直刺膈俞穴的危险深度[J]. *中华中医药杂志*, 2013, 28(1):259-261.
- [32] Deng D, Duan G, Liao H, et al. Changes in Regional Brain Homogeneity Induced by Electro-Acupuncture Stimulation at the Baihui Acupoint in Healthy Subjects: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study[J]. *J Altern Complement Med*, 2016, 10. 1089/acm. 2015. 0286.
- [33] Chen S, Xu M, Li H. Acupuncture at the Taixi (KI3) acupoint activates cerebral neurons in elderly patients with mild cognitive impairment[J]. *Neural Regen Res*, 2014, 9(11):1163-1168.
- [34] Claunch JD, Chan ST, Nixon EE, et al. Commonality and specificity of acupuncture action at three acupoints as evidenced by fMRI[J]. *Am J Chin Med*, 2012, 40(4):695-712.
- [35] Kong SP, Tan QW, Liu Y, et al. Specific Correlation between the Hegu Point (LI4) and the Orofacial Part: Evidence from an fMRI Study[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2015; 2015:585493.
- [36] 鲁娜, 单保慈. 同一经络上穴位的脑功能磁共振成像研究[J]. *中国医学物理学杂志*, 2010, 27(3):1916-1920.
- [37] Bai L, Yan H, Li L, et al. Neural specificity of acupuncture stimulation at pericardium 6: evidence from an fMRI study[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2010, 31(1):71-77.
- [38] Shan Y, Wang ZQ, Zhao ZL, et al. An fMRI study of neuronal specificity in acupuncture: the multiacupoint siguan and its sham point[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2014, 2014:103491.
- [39] Na BJ, Jahng GH, Park SU, et al. An fMRI study of neuronal specificity of an acupoint: electroacupuncture stimulation of Yanglingquan (GB34) and its sham point[J]. *Neurosci Lett*, 2009, 464(1):1-5.
- [40] 陈俊琦, 黄泳, 邹燕齐, 等. 针刺外关穴与外关配伍内关穴的 fMRI 脑功能成像比较研究[J]. *辽宁中医杂志*, 2010, 37(6):1127-1129.
- [41] Liu L, Wu Y, Zheng J, et al. Cerebral activation effects of acupuncture using Zusanli (ST36) and Yanglingquan (GB34) points based on Regional Homogeneity indices: A resting-state fMRI study[J]. *J Xray Sci Technol*, 2016, 24(2):297-308.
- [42] 宋晓晶, 张栋. 针刺合谷与光明穴在面部的红外热像显示研究[J]. *中国针灸*, 2010, 30(1):51-54.
- [43] Guan L, Li G, Yang Y, et al. Infrared thermography and meridian-effect evidence and explanation in Bell's palsy patients treated by moxibustion at the Hegu (LI4) acupoint Overall regulation or a specific target? [J]. *Neural Regeneration Research*, 2012, 7(9):680-685.
- [44] 岑珏, 赵影, 陈跃来. 膀胱过度活动症患者中极穴红外辐射温度特性研究[J]. *上海针灸杂志*, 2012, 31(6):438-440.
- [45] 沈雪勇, 魏建子, 黄奏琴, 等. 不同生命状态内关穴红外温度变化过程中穴位特异性的显现[J]. *上海针灸杂志*, 2012, 31(2):71-73.
- [46] Yang Y, Ji L, Li G, et al. Differences in thermal effects of moxibustion at Zusanli (ST 36) and Hegu (LI 4) on various facial areas in healthy people [J]. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2012, 32(3):397-403.
- [47] 郝娜, 白增华, 栾桂芳, 等. 慢乙肝患者小腿部位足三阴经穴红外温度比较研究[J]. *辽宁中医药大学学报*, 2014(4):100-102.
- [48] 高允海, 王军龙, 许斌. 慢性胆囊炎患者胆的俞募穴及下合穴红外热成像特征研究[J]. *中华中医药学刊*, 2016, 34(6):1345-1347.
- [49] 陶超, 刘晓峻. 生物医学光声成像的研究进展[J]. *应用声学*, 2012, 31(6):401-409.
- [50] Chao W, Kim J, Rekawa S, et al. Demonstration of 12 nm resolution Fresnel zone plate lens based soft x-ray microscopy[J]. *Optics express*, 2009, 17(20):17669-17677.
- [51] 陈尚杰, 彭淑明, 许明辉, 等. 功能性磁共振成像与针刺研究的基线选择[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2010, 14(48):9007-9010.
- [52] 朱一芳, 李传富. 静息态脑功能性磁共振成像在针刺研究中的应用[J]. *中国中西医结合影像学杂志*, 2011, 9(4):356-358, 366.
- [53] 喻晓春, 朱兵, 高俊虹, 等. 穴位动态过程的科学基础[J]. *中医杂志*, 2007, 48(11):971-973.
- [54] 陈波, 李明月, 丁沙沙, 等. 针刺调节神经-内分泌-免疫网络研究进展(英文)[J]. *世界针灸杂志*, 2014, 24(4):49-53.

(收稿日期: 2016-08-15)

(本文编辑: 韩虹娟)