

经络与穴位探测研究进展*

成俞沛^{1,2,3}, 郭 扬^{2,3**}, 张润琛^{1,2,3}, 郭 义^{1,3}, 吴帮启^{2,3}

(1. 天津中医药大学 天津 301617; 2. 天津中医药大学大学第一附属医院 天津 300381;

3. 国家中医针灸临床医学研究中心 天津 300381)

摘 要:本文就近5年经络穴位各种特性的相关研究及检测技术,对PubMed数据库、中国知网数据库和万方数据库进行文献检索和筛选。目前对经络和穴位特性的研究尤以电学特性、热学特性及光学特性的探测为主。结合现代科技,利用经络和穴位各特性设计发明的探测设备在选定穴位、协助诊断、反映针效、健康检测等方面都得到了一定的应用。利用外界探测设备对经络穴位的物理特性的发掘可为经络穴位实质研究提供更精确的技术反馈,但未来仍需加强经络穴位特性的综合探索以及多学科技术的交叉融合,从而实现经络穴位研究的“探测-反馈-再学习”的正向发展模式。

关键词:经络和穴位特性 经络穴位探测 电学特性 热学特性 研究进展

DOI: 10.11842/wst.20240506003 CSTR: 32150.14.wst.20240506003 中图分类号: R245 文献标识码: A

穴位作为经络气血流注的节点,在反映人体能量代谢、信息传递、疾病发展等方面发挥重要的作用^[1]。自1950年日本学者中谷义雄探测到患者沿肾经的皮肤具有低电阻特性以来,对于经络穴位的探测研究逐渐受到诸多学者的关注^[2],直至今日,依然是国内外学者研究的焦点。2021年Science杂志提出了125个领域最具挑战性的前沿问题,其中就提到:“中医的经络系统是否有科学依据?(Is there a scientific basis to the Meridian System in traditional Chinese medicine?)”。近年来,研究者在经络穴位的电学探测、热学探测、光学探测、声传导探测、同位素循经迁移探测等方面取得了一些新的发现,为经络穴位的科学依据提供了多维度的支持。本文以“Meridians”、“Acupuncture Points”、“Detection”、“经络”、“穴位”、“电阻”、“热成像”、“光学”、“声学”、“同位素”等为关键词,通过对PubMed数据库、中国知网数据库和万方数据库进行文献检索和筛选,就近5年经络穴位各种特性的相关探测研究及探测技术进行总结和分析(文献检索流程见图1),以期为未来的探测研究提供新思路。

1 经络穴位特性探测

1.1 经络和穴位的电学探测

经络穴位电学特性以低电阻、高电位为主要表现。20世纪50年代,日本学者笹川将皮肤导电量较高

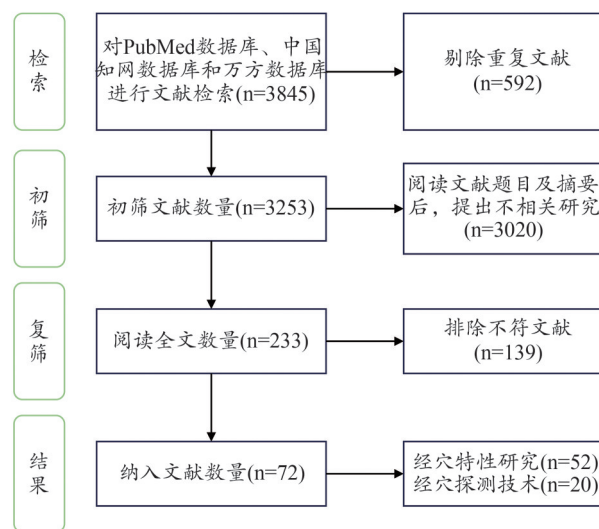


图1 流程图

收稿日期:2024-05-06

修回日期:2024-06-23

* 中华中医药学会(CACM-(2022-QNRC2-A09)):中华中医药学会(2022-2024年度)青年人才托举工程项目,负责人:郭扬。

** 通讯作者:郭扬(ORCID:0000-0003-1600-4666),博士,主治医师,针刺治疗脑病。

的点命名为“良导点”,由“良导点”连成的线称为“良导络”^[3]。之后研究人员利用体表电阻抗测量仪器对人体经穴进行系统的测量,发现“良导点”基本循经,但并不相连,且具有左右电阻值对称的基本特性^[4]。

经络的五输穴是穴位电特性的测量代表穴,普遍比其他穴位的导电量变化更敏感,同时还可以在一定程度上反映人体脏腑气血的盛衰^[5]。在近5年对经穴的电学探测中,原穴、井穴等五输穴受到了广泛关注。研究发现,五输穴的电学特性变化可在一定程度上起到反映疾病状态、揭示疾病规律的作用。黄健等^[6]研究发现面瘫患者患侧的原穴与井穴电阻低于非穴点。徐林新等^[7]研究发现失眠伴焦虑状态患者的原穴电能量值差异高于健康人,并且出现双侧导电量失衡现象。范玺胜等^[8]比较原发性痛经患者和正常人群月经期间穴位的电阻变化,发现月经来潮前后太冲穴电阻失衡度分别呈现不同的变化规律。徐媛媛等^[9]研究发现足三阴经相关经穴左右两侧电阻的变化可特异性地反映胞宫在月经周期中的气血变化情况。杨月嫦等^[10]研究发现亚健康状态下五输穴的电阻值低于健康状态。

此外,研究人员还利用井穴的电阻变化规律,作为疾病风险预测、健康状态评估等临床诊疗工具。高群等^[11]对经抗血栓治疗后的冠心病患者进行研究,检测十二井穴电阻抗值,构建出血风险预测模型,发现鼻出血与肺经、牙龈出血与大肠经、皮下出血与小肠经关系密切。李媛媛等^[12]通过测量受试者手指和脚趾处的十二井穴的电导数据,使用总偏离度来量化人体亚健康程度,发现亚健康人群与健康人群的总偏离度存在差异。

除在临床诊疗方面对经络穴位电学特性进行探测外,近年来对如何改进经络穴位的电学探测方法,学界也产生了诸多探讨。尽管许多实验报道了穴位的低电阻特性,但近年来也有研究认为此特性并非普遍存在^[13-14]。穴位作为一个复杂开放的系统,对其电阻的测量受检测环境、肢体形态、皮肤角质层、测量电极设备等多方面因素的影响。Xu等^[15]研究提示不同穴位的周围皮肤电阻抗分布存在差异,弯曲四肢后十二原穴两侧的阻抗变化也各不相同,并且肢体弯曲变化会导致各原穴电阻抗呈现不同趋势。研究还发现,穴位电阻具有非线性特征,即穴位电阻并非固定值,而是表现为随检测电流或电压的变化而改变,提示穴位电阻值与检测条件密切相关^[16]。另外,以往对穴位

电特性研究基本上是集中在穴位(经络)皮肤表层,这与传统经络学说中所描述的经络腧穴特点不完全一致。杨华元团队指出目前穴位电阻检测仅局限于皮肤表面,无法反映穴位深部细胞的电极变化,同时,皮肤介质、探测时间、检测技术均对穴位检测的结果造成干扰^[17]。对此,魏建子等^[18]提出了相对优化的方案,即通过给穴位一组连续变化的激励电流,记录穴位对此激励电流的电压响应曲线,对电压曲线-电流曲线的关系进行系统分析,从而挖掘出穴位电学特性中不受检测条件等因素影响的固有规律。

1.2 经络和穴位的热学探测

《素问·阴阳应象大论》中提到,“阳盛则身热”,“阴胜则身寒”。经络和腧穴的体表温度变化是反映人体气血输注和疾病变化的主要表现形式之一^[19]。近年来,随着红外热像技术在医学邻域的广泛应用,发现经络和穴位的体表温度具有一定的特异性和规律性,为经络和穴位的客观存在提供了有力的科学依据。目前借助红外热像技术对经络穴位的探测主要从生理状态、病理状态两方面开展。

1.2.1 生理条件下对经络穴位温度的探测

王登辉等^[20]观察发现,在健康受试者的生理状态下,心包经左手相关穴区皮肤温度高于右手对应穴区。在经过砭贴和毫针干预后,右侧温度有所上升,而左侧上升不明显。李天玉等^[21]观察发现,在生理状态下的胞宫周期性排泻过程中,地机穴的体表温度在排卵期表现出相应变化,具有预示排卵期的特征。Zhang等^[22]对不同年龄段健康成人的心肺经前臂穴位血流和体温进行分析,发现老年组的部分穴位在血流量和体温方面与其他组存在差异,提示年龄对特定穴位的血流和温度具有一定影响。Li等^[23]观察健康人心肺经温度变化,发现艾灸后肺经组远端区域的温度增加,心经组靠近艾灸点的区域温度上升,而远端温度无变化,提示艾灸诱导的热传递效应与经络路线相关。复旦大学Jin等^[24]选取13种茶叶,利用红外热成像对志愿者饮茶后身体不同部位图像分析,发现不同种类的茶可激活相应的器官,并且形成的高温线与十二经脉循行相匹配。

1.2.2 病理条件下对经络穴位温度的探测

在经络穴位温度与痛经的相关研究中,张素芳等^[25]观察寒凝血瘀型痛经患者不同月经期任督二脉经穴温度变化,发现寒凝血瘀型痛经患者的督脉在经期呈

现出特殊的“低温”现象。张明健等^[26]发现原发性痛经寒凝血瘀证患者在月经来潮前及月经来潮时督脉和膀胱经的腰骶部穴位表现出红外辐射温度降低。Fan等^[27]发现原发性痛经患者在月经期间和月经后,部分穴位的温差绝对值呈现不同的变化趋势。

在其他疾病的研究中,经络穴位温度也表现出不同的变化规律。郑国坤等^[28]观察痰瘀互结型冠心病患者胸背部腧穴温度的特点,发现冠状动脉狭窄程度与胸部双侧腧穴温度差有关,狭窄程度越高,双侧温度差越大。蔺福辉等^[29]发现不同证型腰椎间盘突出患者的经穴皮肤温度存在差异,从而可据此进行辨证取穴。杨广印等^[30]观察慢性胃炎患者督脉不同区段皮肤温度,发现人体督脉背段体表温度特性与胃的机能状态有关。谢露露等^[31]将女性乳腺癌患者分为疲劳组和不疲劳组,发现疲劳组命门、双侧足三里的皮肤温度低于不疲劳组,穴位温度与疲劳程度呈负相关。唐宜春等^[32]探究失眠患者不同经脉腧穴的温度变化,发现穴位的温度变化与其所属经脉的阴阳属性相关,反映出失眠病“阳亢于上,阴甚于下,阳不入阴”的病机特点。刘玉婷等^[33]对术后肝癌患者的肝经、心包经穴位温度变化进行分析,发现肝经特定穴位温度可特异性反映肝脏病理变化,为早期肝癌诊断提供辅助信息。刘炜等^[34]观察周围性面神经麻痹急性期患儿面部腧穴温度变化规律,发现患儿面部腧穴温度呈动态变化且与疾病严重程度相关。李欣悦等^[35]观察男性艾滋病患者背俞穴的红外温度,发现部分背俞穴红外温度呈现出规律的差异性表现。葛鹏飞等^[36]通过观察Ⅱ型糖尿病患者的背俞穴温度变化,发现背俞穴温度的改变与Ⅱ型糖尿病有一定的相关性。傅梦玉等^[37]通过检测哮喘慢性持续期患者相关背俞穴表温度,发现哮喘组背俞穴温度较健康组同侧腧穴温度升高,且两组双侧肺俞、膈俞穴体表温度均高于同侧脾俞、肾俞穴。

上述相关研究提示,穴位的温度变化可在一定程度上反映疾病的辨证分型、严重程度、进展情况等,并且可为进一步的诊治提供参考;同时,穴位的温度变化规律还与腧穴的所属经脉、分布位置相关,也为“经络-腧穴-脏腑”相关理论提供了科学依据。

1.3 经络和穴位的光学探测

九十年代已有研究发现,人体经脉以及穴位具有高发光的特性^[38-39],现代研究也表明任何生物在新陈代谢过程中都可自发地向外出微弱光^[40],随着科技

的发展,利用光学成像技术对腧穴特性进行观测也成为目前研究的重点方向之一。其中包括激光多普勒血流灌注成像、激光散斑成像、近红外光谱成像、太赫兹(Tera Hertz, THz)波光谱技术、光声成像技术、超微弱发光技术等。

Zhang等^[41]采用激光多普勒血流(Laser doppler flowmete, LDF)观察比格犬十二条经络穴位处的皮肤微血管运动,发现同一经络穴位的血管运动频率相同,但不同经络之间不相同,12条主经脉的频率呈恒定顺序。郭扬等^[42]运用激光散斑血流检测系统观察督脉穴位皮肤微循环灌注量,发现安静状态下督脉皮肤血流微循环灌注量高于膀胱经,且艾灸命门可使该现象更加显著。宋晓丹等^[43]通过激光散斑血流成像技术观察胞宫相关穴位在月经不同时期的微循环血流灌注量变化规律,发现脾经地机和肝经中都穴体表微循环可特异性反映生理状态下胞宫气血变化。Qin等^[44]采用红外辐射光谱检测系统观察健康女性月经周期内子宫穴的红外辐射光谱特征,发现健康女性子宫穴红外辐射强度和糖代谢均高于非穴位区。

太赫兹波是一种频率在0.1-10 THz(波长为3 mm~30 μm)的电磁波,具有光学和电学的双重特性。研究表明太赫兹波在生物大分子之间的信息应答,以及对生物大分子的精确调控方面都非常敏感^[45]。黄志军等^[46]对在校健康大学生进行五脏原穴THz波检测,发现艾灸五脏募穴后,五脏原穴THz波辐射强度均有所增强。章文春等^[47]对健康大学生的十二经原穴进行检测,发现波段2.60-3.20 THz可能是原穴的特异性波段,并且手部原穴的THz波比足部原穴的THz波辐射强度高。张舟南等^[48]发现手部劳宫穴和少府穴THz辐射量大于非穴位区THz辐射量。范志文等^[49]则发现手部经穴与非经穴具有THz波信息联系。黄志军等^[50]的研究发现男性与女性之间存在着THz辐射量的差别,每个穴位的THz波辐射量也有所不同。黄志军等^[51]的另一项研究表明艾灸右侧穴位后,左侧THz波发生变化,为探究左病右治效应及相关机制提供了一定的生物物理学基础。

光声成像(Photoacoustic imaging, PAI)结合了声学成像与光学成像的优势,可实现毫米至纳米级的不同分辨率,从而能够对穴位局部血管微循环的结构与功能变化进行更精确的观察。刘浩等^[52]运用光声成像技术对心肌缺血小鼠模型的穴位进行观察,计算穴位弯

曲计数度量(Integer counter mode, ICM)等数值,发现模型小鼠“厥阴俞”的ICM发生变化。刘潇潇等^[53]利用光声成像技术对膝骨关节炎模型大鼠的穴位进行观察,发现穴位敏化与微循环的结构变化无关。Ding等^[54]采用光声成像技术,对比不同时段膝关节骨关节炎小鼠模型的穴位和非穴位处微血管的结构图,发现无明显变化。

生物超微发光(Ultra-weak photon emission, UPE)是生命体所固有属性,广泛存于生物体生命活动中,可以反映生物体的能量代谢情况。前期研究发现人体十四正经的经穴、经脉循行路线具有高发光的生物物理特性^[55]。然而近5年该技术的应用较少,郭乐等^[56]发现某些经穴处的发光会高于非经穴处;并采用UPE成像系统测量手部的UPE高亮点,发现其动态变化与经络循行路线有潜在的对应关系。

综上,各种光学探测技术在经穴特性的研究中仍处于初步探索阶段,相关结论尚不成熟,未来仍有巨大的研究空间。

1.4 经络和穴位的声传导探测

腧穴对不同频率声波的接收具有特异性。20世纪80年代,中国科学院生物物理研究所祝总骥等研究了经络的生物物理特征,发现经络相对于邻近区域具有高振动声特性,即通过敲击经脉可以通过听诊器确定出具有更高的音调和振幅的冲击活动点(Percussion active points, PAP),这些点的连接线被称为PAP线^[57-58]。Xiong等^[59]利用人体心包经的响音特性,从而实现心包经的可视化。实验利用荧光素钠对心包经进行显像,并通过其高振动声特性来识别PAP,发现荧光信号与PAP大致相同,间接验证了经络的声特性。

1.5 同位素循经迁移探测

上世纪80年代,我国研究者采用同位素^{99m}Tc-高锝酸钠(^{99m}Tc)对人体十四经脉进行示踪发现同位素的迁移路线与古典经脉的路线基本吻合^[60]。张维波等^[61]系统的提出同位素循经迁移不是简单地在组织间隙中依赖浓度梯度扩散,而是以流动的组织液为载体的对流输运,并证明了经脉的低流阻特性^[62];顾鑫等^[63]将荧光素钠分别注入大鼠任脉低电阻点(Low impedance point, LIP)、任脉低流阻点(Low hydraulic resistance point, LHRP)和任脉旁开点,观察荧光素钠(Sodium fluorescein, SF)的迁移规律。发现任脉LIP和LHRP均出现循经迁移轨迹,旁开组仅出现局部扩散,且SF循

经迁移的距离均显著长于旁开组,迁移线宽度均显著小于旁开组,循经迁移速度显著快于旁开组纵向扩散速度;Li等^[64]对健康志愿者的心包经特定穴位注射SF,通过成像技术观察到注射于穴位的荧光染料沿着与心包经密切对齐的路径迁移,而非穴位注射未显示相似路径。宋晓晶等^[65]给大鼠静脉注射SF后,观察到在大鼠腹壁正中线即任脉循行位置中填充着大量混合SF的组织液;熊枫等^[66]测量健康小型猪四肢的低电阻点及其构成的循经低电阻线(Low impedance line along meridians, LILM),并在低电阻点及旁开高电阻点(High impedance point, HIP)注射微量SF,发现沿四肢的LILM共出现可重复的7条体表循经迁移轨迹,而在HIP注射后仅在局部出现接近圆形的扩散。以上研究均提示经络和穴位可能是功能性结构而非传统解剖实体,其生理学基础涉及结缔组织层和间质液体运动。张维波团队近期研究还表明,电针干预或轻微的原地运动和节律性运动,可使SF循经迁移轨迹的长度和宽度显著延长^[67-68]。

2 经络和穴位的探测技术

近5年,随着现代医学综合化发展,基于穴位的各种特性,将经络穴位探测与红外技术、电测量技术、辐射监测技术等现代科技进行交叉融合、协同创新,设计出了多种经络穴位探测系统及仪器,在临床诊疗、家庭保健、辅助选穴、信息采集等方面具有广泛的应用价值。

2.1 经络穴位电阻探测设备

近年来,基于穴位低电阻、高电容的特性,结合数字化检测系统、云平台技术、三维成像装置等现代科技,使穴位的动态检测、精确定位变得更加便捷,同时还实现了健康监测、数字诊断、个性治疗等新的应用功能。

在穴位的动态监测方面,张鑫等^[69-70]基于STM32芯片技术及丰富的外设功能实现人体低电阻点的动态检测及数字化显示。刘冉等^[71]基于十二时辰的定时测量模式,定时获取十二时辰的待测穴位电阻值。黄斌^[72]将云平台与经络检测设备结合,从而实现区域化的经络检测设备的联网互通、信息共享。刘婧等^[73]应用传感器建立腧穴区域皮肤电阻抗的三维数理模型,实现腧穴区域皮肤电阻抗的三维成像。在穴位定位方面,张小华等^[74]设计的经络穴位快速定位仪,集合多探头,实现对穴位定位、标记、探测的同步完成。郭

义等^[75]设计的新型脉冲穴位探测笔,解决了原有探测笔长期不使用时无法停用、容易误触等问题。朱勇^[76]设计的经络检测笔可以满足不同腧穴所在部位的检测需求,有效降低了生物电阻值采集的难度。在穴位的诊疗方面,邵强^[77]利用微电脉冲刺激人体皮肤,通过数据库汇总生成体检报告信息和匹配养生方案。李勇^[78]基于生物电能检测,对人体穴位进行定位,通过数据分析对人体健康状态做出判断,实现数字化诊断。杨卓欣等^[79]设计的经络穴位针疗装置,采用电极阵列,对穴位进行单点刺激的同时,还可根据经络穴位的特性控制激励电流,进行对应刺激。

2.2 经络穴位温度探测设备

近年来,利用红外热成像技术,通过对穴位温度的动态监测、采集和分析,在辅助选穴、提高疗效等方面发挥了重要作用。武士勇等^[80]将标准的人体经络穴位图以及人体温度场数据导入计算机,形成三维点云图,作为原始数据,用红外温度检测仪对人体进行温度采集,将采集到的数据与原始数据进行拟合,并识别采集数据穴位、温度的异常点。赵宏杰^[81]利用床头动态经络穴位热信息可视化系统,使患者在舒适卧姿的状态下,实现对穴位温度以及经穴示意图的实时监测与显示。徐刚等^[82]将细线热电偶埋入空心针体内作为穴位探测探头,实现对穴位内部温度的测量,定量地记录针刺过程中温度的变化情况。焦琳等^[83]设计一种具有艾灸功能的热敏腧穴红外探测仪,可通过热敏电阻加热丝加热后形成艾灸效果,提高热敏腧穴红外探测仪的理疗效果。刘存志等^[84]设计的一种红外热像辅助选穴系统,通过采集膝关节炎患者的红外图像,构建模式库进行模式辨识,从而选出最优针刺穴位。

2.3 其他经络穴位探测设备

李婷等^[85]设计了一种基于针灸疗法的血液动力学参数光学检测系统,测量非针灸部位的相同经络组织及对侧穴位的血液动力学参数变化,研究和对照穴位经络的传输效应。袁明辉等^[86]设计了一种太赫兹辐射信号检测的人体穴位探测装置,通过测量人体皮肤不同部位的太赫兹波辐射差异,测量人体穴位位置及其活动状态。白军民^[87]设计的一种穴位探测装置,利用超声发射元件用于向探测区域发射超声波探测信号,通过发射、接收超声波来判断人体的皮穿支位置,进而得以找到穴位的精确位置。

目前经穴探测设备的多元化交叉融合已成趋势,

但由于部分经络穴位特性的研究尚处于初步发展阶段,使得对经络穴位探测设备的开发仍存在诸多壁垒,因此,未来仍需加大对经络穴位特性的研究力度,为其临床转化提供更多的理论支持。

3 讨论与展望

经络穴位的特性的探索依然是现代医学研究的重点。自上世纪80年代始,研究人员对于经络穴位特性的探测进行了大量的研究,除文中总结的电学特性、热学特性、光学特性、声传导特性和同位素循经迁移特性外,也有研究团队对经络穴位的磁学特性、经络阻滞现象等方向进行了系列研究。然而,对近5年内相关研究进行整理后发现,在经络穴位的磁学特性和经络阻滞现象等方面的研究出现了停滞。目前对经络穴位特性的探测尤以电学特性、热学特性及光学特性为主。而经络和腧穴的声传导特性、同位素迁移特性在早期的相关研究中被部分学者所关注,近年来的相关研究也相对较少,并没有取得实质性的发展。此外,从近5年经络穴位探测设备的研发情况可发现,经络穴位特性的研究结果与现代技术的结合趋势显著。结合现代科技,利用经络穴位各特性设计发明的仪器设备在选定穴位、协助诊断、反映针效、健康检测等方面都得到了一定的应用。

然而,对于经络穴位探测的研究和应用仍然存在一些问题。首先,经络穴位作为人体复杂的结构功能系统,单独从经络穴位的某一特性进行探测研究并不能准确且完整的认识经络及穴位。而且,经络穴位某一种特性的改变是否与另一种特性之间存在相互影响,如何从仅对单一某种特性的观察发展到综合多种特性,实现网络化的观察模式,是目前研究中所欠缺的。纵观整个经穴探测的研究,当下仍缺乏多学科、跨领域的综合研究。因此,未来的研究中,应更加注重多学科的交叉融合,综合利用如人工智能技术、软计算方法、数据挖掘技术、模式识别、图像处理技术、多通道传感技术、多主体系统等手段,全方面开展经络穴位探测研究,构建完整的经络穴位特性网络。其次,实现临床应用是检验医学研究价值的重要标准,而结合目前的临床现状,大量的经络穴位研究并未能真正实现临床转化,如穴位电特性的探测与应用,经过了几十年的临床与基础研究,无论是其技术还是相关的器材,均未能在临床上得到广泛应用,科

研成果得不到有效转化。另外,技术标准化是现代科学仪器研发的关键因素之一,而穴位探测仪器的研制尚无相关的标准和规范。开展探测仪器的标准研究和规范制定对提高行业整体水平至关重要。

虽然经络与穴位的探测研究面临诸多挑战,但这些挑战恰恰反映出我们需要更科学和系统的方法来探索和验证其生物学基础及临床应用价值。现代科技的进步,尤其是生物医学工程、信息科学等领域,为我们提供了前所未有的手段来深入研究微观生物现象,这些技术手段应用于经络与穴位的探测,能够推动其科学化、精确化发展。同时,我们还应当在方法论上创新,采用多模态探测技术结合现代成像技术、电生理技术等,从多角度全面评估穴位的生理和病理

状态。跨学科合作将是推动此领域发展的关键,生物学、物理学、医学和信息科学的融合将帮助我们更深入地理解经络穴位的作用机制。此外,应用大数据和人工智能技术来系统整理和分析历史与现代的临床数据,将极大提高研究的准确性和效率。通过这些策略,我们可以更好地探索经络穴位的科学依据,推动其在现代医学领域中的应用,实现经络穴位研究的科学化、系统化发展。

综上,利用外界探测设备对经络穴位的物理特性的发掘可为经络穴位实质研究提供更精确的技术反馈,未来仍需加强经络穴位特性的综合探索以及多学科技术的交叉融合,从而实现经络穴位研究的“探测-反馈-再学习”的正向发展模式。

参考文献

- 1 梁繁荣,曾芳,赵凌,等. 经穴效应特异性及其基本规律. 中国针灸, 2009, 29(2):129-132.
- 2 郭义. 实验针灸学. 北京: 中国中医药出版社, 2008.
- 3 中谷义雄, 叶少麟. 良导络的临床治疗应用. 上海中医药杂志, 1959(12):44-47.
- 4 王学民, 常晓剑, 曹玉珍. 基于生物电放大器的经络阻抗研究. 北京生物医学工程, 2007, 26(4):365-368.
- 5 陈添伊. 基于穴位电学特征的经络研究进展及现代应用探讨. 世界中西医结合杂志, 2016, 11(3):433-435.
- 6 黄健. 穴位低电阻特性在贝尔面瘫的观察. 上海: 上海中医药大学, 2019.
- 7 徐林新, 种茵, 许潇颖, 等. 基于经穴电学特性研究失眠伴焦虑状态与脏腑经络相关性. 世界中医药, 2021, 16(19):2946-2949.
- 8 Fan X S, Liu J, She Y F, *et al.* Research on the body surface resistance imbalance degree at yuan-source points of three yin meridians of foot in the patients with primary dysmenorrhea. *World Journal of Acupuncture-Moxibustion*, 2021, 31(3):191-196.
- 9 徐媛媛, 潘丽佳, 贾春生, 等. 足三阴经经穴体表电阻反映胞宫生理变化的规律研究. 针刺研究, 2020, 45(2):157-163.
- 10 杨月嫦, 周嘉, 周扬, 等. 亚健康状态经络穴位电阻特征的临床研究. 上海针灸杂志, 2023, 42(10):1120-1124.
- 11 高群, 张华军, 张立晶, 等. 基于十二井穴生物电阻抗值构建冠心病患者抗血栓治疗出血风险预测模型. 中医杂志, 2023, 64(7):710-715.
- 12 李媛媛, 洪伟毅. 基于十二正经电学平衡的亚健康定量分析. 现代中医药, 2022, 42(1):143-146.
- 13 Ahn A C, Wu J R, Badger G J, *et al.* Electrical impedance along connective tissue planes associated with acupuncture meridians. *BMC Complement Altern Med*, 2005, 5:10.
- 14 Pearson S, Colbert A P, McNamers J, *et al.* Electrical skin impedance at acupuncture points. *J Altern Complement Med*, 2007, 13(4):409-418.
- 15 Xu J J, Yang F, Han D H, *et al.* Low impedance nature of 12 acupoints on the limbs, and the unexpected dependence on limb angle. *J Tradit Chin Med*, 2018, 38(2):287-298.
- 16 Wei J Z, Mao H J, Zhou Y, *et al.* Research on nonlinear feature of electrical resistance of acupuncture points. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2012, 2012:179657.
- 17 马忆南, 杨华元, 陈静静, 等. 穴位电阻检测与技术研究分析. 中国针灸, 2011, 31(12):1087-1091.
- 18 魏建子, 沈雪勇. 穴位电阻的非线性特征及应用. 中国针灸, 2023, 43(2):171-174.
- 19 郑海珍, 熊俊. 穴位皮肤温度与针灸效应研究进展. 辽宁中医杂志, 2022, 49(9):209-213.
- 20 王登辉, 侯中伟, 李晓雅, 等. 基于红外热成像技术对生理状态下及砭贴、毫针疗法干预下的心包经相关穴位皮肤温度影响的观察. 中医药导报, 2022, 28(7):81-85.
- 21 Li T Y, Pan L J, Jia C S, *et al.* Study on the body surface temperature variation patterns of the meridian acupoints related to the physiological status of the uterus. *Journal of Acupuncture and Tuina Science*, 2020, 18:337-344.
- 22 Zhang Y J, Li X Y, He X F, *et al.* The influence of age on blood flow and temperature of acupuncture points: A study based on laser Doppler flowmetry and infrared thermography. *Clinical Complementary Medicine and Pharmacology*, 2022, 2(3):100018.
- 23 Li X Y, Jiang Y L, Hu H T, *et al.* The moxibustion-induced thermal transport effect between the heart and lung meridians with infrared thermography. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 2022, 9:817901.
- 24 Jin W L, Tao Y C, Wang C, *et al.* Infrared imageries of human body activated by tea match the hypothesis of meridian system. *Phenomics*, 2023, 3(5):502-518.

- 25 张素芳,陈苑平,陈柯,等.寒凝血瘀型痛经患者月经周期中任督二脉循经红外辐射轨迹与微循环血流灌注量观察.中华中医药杂志, 2022, 37(1):533-536.
- 26 张明健,刘君,林杪,等.对原发性痛经寒凝血瘀证患者任、督、冲三脉经穴热学特性的研究.北京中医药大学学报, 2022, 45(12):1266-1276.
- 27 Fan X S, Xiaoyi D U, Pan L J, *et al.* An infrared thermographic analysis of the sensitization acupoints of women with primary dysmenorrhea. *J Tradit Chin Med*, 2022, 42(5):825-832.
- 28 郑国坤,何贵新,秦伟彬,等.基于红外热成像技术分析痰瘀互结型冠心病病人膻穴温度特点.中西医结合心脑血管病杂志, 2022, 20(8):1374-1378.
- 29 蔺福辉,何正保,计姜逊,等.基于红外热成像技术对不同证型腰椎间盘突出症患者相关经穴皮肤温度变化的分析.中国中医骨伤科杂志, 2022, 30(6):12-15.
- 30 杨广印,潘晓华,黄倩茹,等.慢性胃炎患者督脉背段穴位皮肤温度的特异性.中华中医药杂志, 2020, 35(7):3376-3378.
- 31 谢露露,金铭,毛妮,等.乳腺癌患者穴位皮肤温度与疲劳程度的相关性研究.上海针灸杂志, 2022, 41(12):1245-1248.
- 32 唐宜春,郝晓东,杨翠霞,等.失眠患者相关经穴的红外热像观察.红外, 2019, 40(10):42-48.
- 33 刘玉婷,嵇波,赵国栋,等.基于经穴-脏腑相关理论对原发性肝癌TACE术患者穴位温度的研究.中医药导报, 2022, 28(9):66-70.
- 34 刘炜,鄂艳红,李海天,等.基于红外热成像技术探讨周围性面神经麻痹急性期患儿面部腧穴体表温度动态变化的前瞻性队列研究.环球中医药, 2021, 14(3):384-388.
- 35 李欣悦,白增华,谷忠悦. AIDS患者背俞穴红外温度比较分析及讨论.亚太传统医药, 2020, 16(6):123-126.
- 36 葛鹏飞,杨正飞,史丽萍. 2型糖尿病患者背俞穴血流灌注量与体表温度的临床研究.吉林中医药, 2019, 39(9):1183-1185.
- 37 傅梦玉,韩新新,袁霄,等.基于红外热成像技术的哮喘慢性持续期患者相关背俞穴体表温度特异性研究.中国针灸, 2023, 43(4):439-443.
- 38 严智强,史燕清,王一中,等.人体十四正经高冷光特性的研究.针刺研究, 1989, 14(3):389-394.
- 39 杨文英,周文新,吕越,等. 80例健康人体躯干部经穴超微弱发光实验研究.深圳中西医结合杂志, 1995, 5(3):1-3.
- 40 Rattemeyer M, Popp F A, Nagl W. Evidence of photon emission from DNA in living systems. *Die Naturwissenschaften*, 1981, 68(11):572-573.
- 41 Zhang T, Liu C, Hu G, *et al.* Synchronous vasomotion of skin microvessels at acupoints on the twelve main meridians of beagle dogs. *Skin Res Technol*, 2020, 26(6):851-858.
- 42 郭扬,马亮,刘沛东,等.督脉穴位皮肤微循环灌注量的特点及艾灸命门穴对其影响的研究.世界中医药, 2022, 17(14):2026-2029.
- 43 宋晓丹,潘丽佳,余延芬,等.足三阴经经穴体表微循环反映月经周期变化规律研究.针刺研究, 2020, 45(9):740-745.
- 44 Qin M, Ma S Q, Huang Z M, *et al.* Research on the characteristics of infrared radiation spectra at Zigong acupoint within menstrual cycle of healthy female. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2019, 2019(1):9568324.
- 45 Zhang H, Zhang Z H, Zhao X Y, *et al.* Assignment of terahertz vibrational modes of L-glutamine using density functional theory within generalized-gradient approximation. *Chinese Physics B*, 2015, 24(7):073301.
- 46 黄志军,吴晶,章文春.基于太赫兹波光谱技术探究五脏和经络的相关性研究.中华中医药杂志, 2022, 37(1):348-352.
- 47 章文春,张舟南,刘建城,等.人体十二经原穴的太赫兹波特征研究.中华中医药杂志, 2022, 37(8):4413-4417.
- 48 张舟南,邱烈泽,范志文,等.人体劳官穴、少府穴与手掌部非穴位区的太赫兹光谱特征.中华中医药杂志, 2019, 34(3):1178-1180.
- 49 范志文,张敬文,邱烈泽,等.人体中渚穴、合谷穴与非经穴外劳官的太赫兹波特征研究.中华中医药杂志, 2019, 34(7):3009-3011.
- 50 黄志军,曹青青,章文春.人体内外劳官穴与少府穴太赫兹波特征研究.中华中医药杂志, 2020, 35(6):2854-2857.
- 51 黄志军,邱烈泽,章文春.艾灸右内关穴对双侧劳官穴太赫兹波辐射光谱的影响.江西中医药大学学报, 2019, 31(5):55-57.
- 52 刘浩,田会玲,汪子栋,等.急性心肌梗死小鼠相关膻穴微血管空间结构的光声成像研究.针刺研究, 2021, 46(6):497-504.
- 53 刘潇潇,丁宁,姜婧,等.膝骨关节炎模型小鼠相关穴区微循环敏化的光声成像观察.针灸临床杂志, 2019, 35(2):56-60.
- 54 Ding N, Liu X X, Chen N B, *et al.* Lack of association between acupoint sensitization and microcirculatory structural changes in a mouse model of knee osteoarthritis: A pilot study. *J Biophotonics*, 2019, 12(6):e201800458.
- 55 严智强,张旭良.人体体表发光的初步探讨.生物化学与生物物理进展, 1979, 6(2):48-52.
- 56 郭乐,郭义,张国侠,等.生物超微弱发光在针刺研究中的应用思路.针刺研究, 2018, 43(6):384-387.
- 57 祝总贇,郝金凯.针灸经络生物物理学:中国第一大发明的科学验证. 2版(增订版).北京:北京出版社, 1998.
- 58 徐瑞民,张如心, Tymowsky J C, 等.手厥阴心包经脉实验体表定位研究.中国医药学报, 1987, 2(5):21-22.
- 59 Xiong F, Xu R M, Li T J, *et al.* Application of biophysical properties of meridians in the visualization of pericardium meridian. *J Acupunct Meridian Stud*, 2023, 16(3):101-108.
- 60 孟竟璧,高惠合,王佩,等.用同位素示踪法显示经络循行的初步研究.针刺研究, 1987, 12(1):77-81.
- 61 Zhang W B, Song X J, Wang Z, *et al.* Longitudinal directional movement of Alcian blue in *Gephyrocharax Melanocheir* fish: Revealing interstitial flow and related structure. *World Journal of Acupuncture-Moxibustion*, 2019, 29:127-132.
- 62 Song X J, Zhang W B, Jia S Y, *et al.* A discovery of low hydraulic resistance channels along meridians in rats. *World Journal of Acupuncture-Moxibustion*, 2021, 31(1):22-29.
- 63 顾鑫,王燕平,王广军,等.荧光照相法对大鼠任脉低流阻通道的活体显示.针刺研究, 2020, 45(3):227-232.
- 64 Li T J, Tang B Q, Zhang W B, *et al.* *In vivo* visualization of the pericardium meridian with fluorescent dyes. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2021, 2021(1):5581227.

- 65 宋晓晶, 张维波, 贾术永, 等. 应用小动物活体激光共聚焦成像系统对大鼠腹壁循经组织组织液分布的初步观察. 中国中医基础医学杂志, 2020, 26(4):474-478.
- 66 熊枫, 宋晓晶, 贾术永, 等. 小型猪四肢荧光素钠循经迁移的初步观察. 中国科学: 生命科学, 2020, 50(12):1453-1463.
- 67 王瑾玉, 王燕平, 熊枫, 等. 电针对小型猪荧光素钠循经迁移的影响研究. 陕西中医, 2022, 43(8):1024-1028.
- 68 熊枫, 贾术永, 宋晓晶, 等. 运动对小型猪肢体荧光素钠循经迁移影响的初步观察. 中国运动医学杂志, 2022, 41(6):465-471.
- 69 张鑫, 崔佳冬, 邢文豪, 等. 基于STM32的中医经络穴位无线探测系统. 智能物联网技术, 2023, 6(1):35-40.
- 70 张鑫, 崔佳冬. 一种高速无线人体穴位探测系统及其方法. CN115067919A, 2022-09-20.
- 71 刘冉, 黄宗海, 毛欣欣, 等. 一种穴位十二时辰的电阻变化检测系统及方法. CN113995398A, 2022-02-01.
- 72 黄斌. 一种基于网络通讯的人体经络检测系统. CN112263221A, 2021-01-26.
- 73 刘婧, 刘国强, 李士强, 等. 一种针灸过程中的腧穴区域皮肤电特性三维成像装置与方法. CN115005795A, 2022-09-06.
- 74 张小华, 刘烜玮, 肖鹏, 等. 一种经络穴位快速定位仪. CN214157973U, 2021-09-10.
- 75 郭义, 卢永权. 一种新型脉冲穴位探测笔. CN210056755U, 2020-02-14.
- 76 朱勇. 经络检测笔及经络检测系统. CN201920430607.1, 2020-05-22.
- 77 邵强. 一种取值穴位的数字化体检系统. CN113223663A, 2021-08-06.
- 78 李勇. 一种基于生物电能检测的经络物象数字化检测系统. CN112205976A, 2021-01-12.
- 79 杨卓欣, 于海波, 崔晗, 等. 一种基于电极阵列的经络穴位针疗装置. CN113350173B, 2022.09.16.
- 80 武士勇, 张英, 王浩, 等. 一种经络穴位温度热成像采集拟合方法. CN111714362A, 2020-09-29.
- 81 赵宏杰. 一种床头动态经络穴位热信息可视化系统. CN111265405A, 2020-06-12.
- 82 徐刚, 杨华元, 刘堂义, 等. 一种穴位内部温度参数采集方法的设计与实现. 中国针灸, 2019, 39(8):901-906.
- 83 焦琳, 迟振海, 陈日新, 等. 一种具有艾灸功能的热敏腧穴红外探测仪. CN210932697U, 2020-07-07.
- 84 刘存志, 邵保宏, 王丽琼, 等. 一种用于针灸治疗膝关节炎的红外热像辅助选穴系统. CN114582489A, 2022-06-03.
- 85 李婷, 高晨阳, 贾蓝羽. 基于针灸疗法的血液动力学参数光学检测系统. CN116327189A, 2023-06-27.
- 86 袁明辉, 张全盛, 闫云浩, 等. 一种太赫兹辐射信号检测的人体穴位探测装置及使用方法. CN112263234A, 2021-01-26.
- 87 白军民. 穴位探测装置及探测方法. CN116098806A, 2023-05-12.

Recent Advances in Meridian and Acupoint Detection

CHENG Yupe^{1,2,3}, GUO Yang^{2,3}, ZHANG Runchen^{1,2,3}, GUO Yi^{1,3}, WU Bangqi^{2,3}

(1. Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 301617, China; 2. First Teaching Hospital of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300381, China; 3. National Clinical Research Center for Chinese Medicine Acupuncture and Moxibustion, Tianjin 300381, China)

Abstract: This paper summarized and analyzed various characteristics of meridians and acupoints and their detection technologies in the past 5 years, which screened on PubMed, CNKI (China National Knowledge Infrastructure) database, and Wanfang database. Current studies are primarily focus on the electrical, thermal, and optical characteristics of meridians and acupoints. Utilizing modern technology, devices designed to detect these characteristics have been applied in selecting acupoints, assisting diagnosis, reflecting the effectiveness of acupuncture, and conducting health assessments. The use of external detection devices to explore the physical properties of meridians and acupoints provides more precise technical feedback for substantial research into these areas. However, future efforts must strengthen the comprehensive exploration of meridian and acupoint characteristics and foster interdisciplinary technological integration. This approach will enable a positive development cycle of "detection-feedback-relearning" in the research of meridian and acupoint characteristics.

Keywords: Characteristics of meridians and acupoints, Detection of meridians and acupoints, Electrical characteristics, Thermodynamic characteristics, Research progress

(责任编辑: 刘玥辰)