

HONGWAIREXIANG ZIDONG CHULI JISHU
JIQI ZAI MIANTAN ZHENZHI ZHONGDE YINGYONG

红外热像自动处理技术 及其在面瘫诊治中的应用

刘旭龙 著



東北大學出版社
Northeastern University Press

红外热像自动处理技术及其在面瘫诊治中的应用

刘旭龙 著

东北大学出版社

·沈阳·

© 刘旭龙 2015

图书在版编目 (CIP) 数据

红外热像自动处理技术及其在面瘫诊治中的应用 / 刘旭龙著. —沈阳: 东北大学出版社, 2015.6

ISBN 978-7-5517-0981-1

I. ①红… II. ①刘… III. ①医用红外线热象图仪—应用—面神经麻痹—诊疗 IV. ①R745.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 129377 号

内 容 简 介

本书主要介绍了面部红外热像自动处理的相关知识以及在面瘫病情客观评估和辅助选穴中的最新应用。全书共有 5 章。第 1 章主要介绍了基于红外热像的面瘫针灸选穴和严重度客观评估方法的研究现状。第 2 章主要介绍了红外热像面瘫客观选穴与严重度评估方法的理论基础。第 3 章主要介绍了面瘫红外热像面部穴位自动定位算法。第 4 章主要介绍了两种新的面部温度分布不对称特征的表示方法以及定性和定量两种面瘫严重度分类方法。第 5 章主要介绍了红外热像选穴临床单盲随机对照实验。

本书从研究者的角度介绍了面瘫面部红外热像自动处理的相关方法, 可供生物医学工程、电子信息科学、自动化以及图像处理等相关专业的科技人员参考。

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110819

电话: 024—83680267 (社务部) 83687331 (市场部)

传真: 024—83680265 (办公室) 83680178 (出版部)

网址: <http://www.neupress.com>

E-mail: neuph@neupress.com

印 刷 者: 沈阳航空发动机研究所印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 170mm×240mm

印 张: 8.75

字 数: 162 千字

出版时间: 2015 年 6 月第 1 版

印刷时间: 2015 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 刘乃义

责任校对: 文 浩

封面设计: 刘江旻

责任出版: 唐敏志

ISBN 978-7-5517-0981-1

定 价: 28.00 元

前言

Bell面瘫是一种临床上常见多发的面神经疾病，其主要症状为口眼歪斜。由于该病病因尚未完全明确，因此部分患者无法彻底治愈，引发面部肌肉运动功能失常的后遗症，严重影响患者的正常生活和人际交往。但在发病初期客观地评估病情，合理地选择穴位进行针刺治疗，绝大多数患者能够痊愈，将后遗症的发病率降到最低。因此，研究一种客观高效的Bell面瘫病情严重度评估以及针灸治疗穴位选择方法，不论对于Bell面瘫患者个人还是对于整个社会，均具有重大意义。

面部温度分布左右不对称是Bell面瘫最新发现的症状之一，红外热像图可以直观地显示和记录Bell面瘫患者的面部温度分布特征。本书依据Bell面瘫的面部温度分布不对称特征，提出了利用红外热像图辅助Bell面瘫严重度客观评估和针灸选穴的新方法，主要内容如下。

首先，基于面部温度分布特征，提出了融合温度特异性和边缘检测，先局部定位后整体细化的面部红外热像图穴位自动定位算法。该方法综合利用了面部温度的相关性与突变性，结合灰度投影法与面部穴位分布的先验知识自动定位面部的穴位。通过实验证明，本算法运算速度快，抗干扰能力强，且穴位定位准确率高，为临床Bell面瘫客观选穴奠定了基础。

其次，在临床实验观察的基础上，提出了两种新的面部温度分布特征的代表方法：(1)面部温度分布不对称度，即面部红外热像图健患双侧的局部二值模式的直方图距离；(2)有效热面积比，即计算面部特定区域和对侧区域的温差乘以温度异常区面积与总面积之比。新的表示方法不仅包括传统热像图中的温度分布信息，而且更加突出了Bell面瘫面部温度左右不对称这一分布规律。利用这两种特征，结合BP神经网络和形式概念分析，提出了Bell面瘫严重度定量和定性两种客观评估方法。实验结果表明，面部温度分布不对称特征与Bell面瘫的严重程度正相关，有统计学意义，对Bell面瘫严重度的分类精度完全符合临床应用标准。因此，利用红外热成像提取面部温度分布不对称特征可以为

临床诊治 Bell 面瘫提供客观的评价指标。

最后，提出了利用红外热像选择左右两侧温差最大的前五个穴位进行针刺治疗的 Bell 面瘫临床选穴新方案。临床单盲随机对照实验表明，红外热像选穴组比常规辨证选穴组的治疗疗程缩短，临床疗效提高了 18.27%，有统计学意义。因此，红外热像选穴法有助于 Bell 面瘫的针灸治疗，而且为其他面部神经类疾病的针灸选穴提供了新思路，这是对中医针灸选穴现代化的有力补充。

本书的出版得到了国家自然科学基金（61401080）和教育部基本科研业务费（N130323021）的资助，在此深表感谢。燕山大学的徐永红老师和张涛老师参与了本书第 4 章部分内容的编写，李少雄博士参与了本书第 2 章部分内容的编写，洪文学教授对本书的编写提出了宝贵意见，在此也深表感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

刘旭龙

2014 年 12 月

目 录

第 1 章	绪 论	1
1.1	研究背景与意义	1
1.2	研究现状	3
1.2.1	Bell 面瘫的严重度评估研究现状	3
1.2.2	Bell 面瘫的选穴方法研究现状	4
1.2.3	红外热成像用于 Bell 面瘫严重度评估和针灸选穴研究现状	6
1.3	本书的主要内容	7
第 2 章	红外热像面瘫客观选穴与严重度评估理论基础	10
2.1	引 言	10
2.2	红外热成像的基本原理	10
2.2.1	红外热成像的光谱学原理	11
2.2.2	红外热像仪的系统组成	12
2.2.3	医用红外热像仪基本原理	13
2.3	针灸治疗 Bell 面瘫常用穴位	15
2.4	红外热像用于面瘫客观选穴与严重度评估原理验证实验	18
2.4.1	实验对象与方法	19
2.4.2	实验结果	20
2.5	本章小结	23
第 3 章	Bell 面瘫红外热像穴位自动定位方法	24
3.1	引 言	24

3.2	面部红外热像穴位自动定位算法	24
3.2.1	红外热像图预处理	25
3.2.2	基于温度特异性原理的面部器官定位	29
3.2.3	基于边缘特征的面部器官定位	33
3.2.4	基于温度特异性与边缘特征的面部器官综合定位	35
3.2.5	侧面红外热像图器官定位	35
3.2.6	红外热像面部穴位定位	37
3.3	穴位自动定位实验	41
3.3.1	面部器官定位实验结果	42
3.3.2	面部穴位定位实验结果	46
3.4	软件实现	47
3.5	本章小结	49

第4章 基于温度分布不对称特征的 Bell 面瘫严重度客观评估方法··· 50

4.1	引言	50
4.2	基于皮肤传热模型的面部红外热像可视化算法	52
4.2.1	辐射产生的热量转移	52
4.2.2	空气对流引起的热量转移	53
4.2.3	身体内部传导引起的热量转移	54
4.2.4	血液充盈传递引起的热量转移	54
4.3	Bell 面瘫面部温度分布不对称特征分析	56
4.3.1	面部 ROI 的划分	56
4.3.2	温度分布不对称度	57
4.3.3	有效热面积比	60
4.4	基于 BP 神经网络的 Bell 面瘫严重度自动分类器	62
4.4.1	模式识别理论和方法概述	62
4.4.2	用于 Bell 面瘫量化评估的 BP 神经网络结构设计	72
4.4.3	Bell 面瘫 BP 神经网络模型的学习仿真	76
4.5	Bell 面瘫严重度客观评估实验结果与分析	77

4.5.1	面部温度分布不对称特征与HB等级的相关分析	77
4.5.2	Bell面瘫BP神经网络分类器的性能分析	79
4.6	基于形式概念分析的Bell面瘫严重度定性分析	81
4.6.1	形式概念分析的基础理论	81
4.6.2	属性偏序结构图生成方法	87
4.6.3	Bell面瘫严重度定性评估方法与实验结果	91
4.7	本章小结	93
第5章	Bell面瘫红外热像选穴临床单盲随机对照实验	94
5.1	引 言	94
5.2	Bell面瘫临床单盲随机对照实验	95
5.2.1	实验对象	95
5.2.2	实验组与对照组的针刺选穴与操作方法	97
5.2.3	临床疗效评价标准	98
5.2.4	观察指标	99
5.2.5	不良事件的观察与分析	99
5.2.6	质量控制与质量保证	102
5.2.7	数据管理	105
5.2.8	伦理学原则	106
5.2.9	实验装置与统计分析方法	107
5.2.10	实验结果	107
5.3	本章小结	114
	结 论	115
	参考文献	117
	附录1	126
	附录2	127
	附录3	128

第1章 绪 论

1.1 研究背景与意义

面瘫是一种临床常见多发的面神经类疾病,也称为面神经麻痹,发病后由于局部面神经功能障碍,出现面部表情肌群运动功能失调,主要症状表现为口眼歪斜,严重影响患者的正常生活和日常交往^[1-2]。面瘫主要分为中枢性面瘫和周围性面瘫两种,其中以周围性面瘫居多,其病因尚未完全明确,主要以带状疱疹病毒或单纯性疱疹病毒感染、肿瘤、中耳炎以及外伤导致的面神经损伤为主^[3-4]。

Bell 面瘫是一种最典型的周围性面瘫,其发病率最高,流行病学研究显示在 30~45 岁年龄段发病率高达 $\frac{25}{10000}$,其中 90%为一侧面部偏瘫^[5-6]。Bell 面瘫的发病和年龄没有明显的关系,无论什么年龄的人群都有可能患病,但是从总体上来看,中青年年龄段的发病率相对于其他年龄段较高^[7]。Bell 面瘫患者一般存在面部表情肌群运动功能障碍,具体体现为额纹变浅并逐渐消失、眼睑用力闭合不全或无法闭合、睑裂增大、无法皱眉、眼泪自溢、口角斜向下垂、鼓腮向一侧漏气、咀嚼食物和说话困难、口角偏斜等^[8]。在严重情况下,如果损伤了感觉神经纤维,将会出现听觉功能障碍、面部肌肉麻木不适以及味觉反应迟钝和唾液分泌功能障碍等,从而严重地影响 Bell 面瘫患者的正常面部表情表达^[9]。众所周知的是,在正常的人际交往当中,不同的面部表情表达起到了巨大的作用,因此 Bell 面瘫会给患者的正常生活带来沉重的心理压力^[10-11]。

在临床上,Bell 面瘫一般起病迅速,在几小时至 1~2 天内,面肌麻痹达到高峰,持续 1~2 周开始恢复,3 个月内不能完全恢复者,则会留下严重的后遗症^[12]。该病病因、病理尚未完全阐明,目前还未出现特异性的有效疗法^[13]。从中医理论来讲,Bell 面瘫的病因多为邪风侵体,导致患者的脉络空虚,正气不

足,卫外不固,风邪乘虚侵入面部经络,致使患侧的气血受阻,经脉失于濡养,导致患侧面部肌肉麻木无力,受到健侧的面部肌肉牵拉,从而表现为嘴斜眼歪^[14]。针灸治疗 Bell 面瘫在我国历史悠久,各种疗法众多,中医界普遍认为针灸治疗 Bell 面瘫是有效的。在 Bell 面瘫发病早期,对 Bell 面瘫患者进行针灸治疗,可以加快患者的恢复速度,缩短病程,降低后遗症的发病率^[15]。但是,目前医师在面瘫的治疗过程中所选用的穴位的部位和数量尚未有统一的标准,主要依靠医师对患者的主观观察和经验判断,在每次治疗前,根据病情,从十几个常用的面部穴位上进行选择。因此,在面瘫的临床研究和治疗中,研究一种客观高效的临床标准选穴方法是十分必要的,不论是对社会还是对个人,都具有重大意义。

此外,在 Bell 面瘫患者接受针灸治疗期间,每一次患者的后续针灸治疗方案都要依据前一个疗程的疗效,因此,在每次针灸治疗之前,患者首先必须评估 Bell 面瘫病情的严重程度。因此,临床上客观准确地评估 Bell 面瘫病情的严重程度对于 Bell 面瘫的针灸治疗具有重要的意义^[16]。目前,临床上对面瘫的严重程度评估多采用 House-Brackmann (HB) 分类量表^[17]及其改进方法^[16],这些方法主要依靠对患者面部静止和运动时出现的不对称性进行评分,根据面神经损伤程度由低到高分六级,一级表示功能正常,六级表示全瘫。但是,由于患者的主观配合程度的差异以及医师的主观偏差,上述方法对局部面神经功能判别不敏感,使评估结果带有显著的组间和组内变异,无法做到完全客观化^[18]。因此,开发一种客观易用的面瘫严重程度评估方法有利于 Bell 面瘫的诊断、治疗和临床研究。

正常人体面部的皮肤温度呈左右对称分布,当面部一侧的神经受损时,相应区域的温度调节功能失衡,使 Bell 面瘫患者的面部温度分布呈现高不对称性。利用红外热成像技术可以有效捕捉这种温度分布的改变^[19]。基于上述原理,本书提出可以利用红外热像技术记录面瘫患者不同时期的面部温度分布情况,提取面部不同部位和穴位区域温度分布的左右不对称特征,构建特征空间,利用模式识别的方法来客观地评估面瘫的严重程度。此外,本书通过临床实验来研究一种依据面部穴位的温差进行客观选穴的方法。

综上所述,本书通过临床实验,利用红外热成像建立了一种客观量化的计算机辅助面瘫选穴和严重程度评估方法,解决了传统方法中客观量化不足的问题,有助于 Bell 面瘫的诊断、治疗和临床研究,而且为其他相似的面部疾病严重程度评估和治疗穴位选择提供了一种新思路,社会意义重大。

1.2 研究现状

1.2.1 Bell 面瘫的严重度评估研究现状

在 Bell 面瘫的每一次治疗疗程前,医师为了能够对症施治,都会对 Bell 面瘫患者进行一次病情严重程度评估,一种客观准确的评估方法无论是对面瘫的治疗还是临床研究都是至关重要的。目前, Bell 面瘫的严重度评估方法主要分为两类:一类为医师通过观察患者的面部动作(微笑、抬眉、闭眼等),测量面部两侧的运动幅度,依据面部运动的对称度进行面瘫严重度评分,例如 House - Brackmann 评分法;另一类方法主要是将 House - Brackmann 评分法自动化的计算机辅助面瘫严重度评估系统,这类系统将患者的面部动作进行拍照或视频,通过图像处理的方法自动化评估面瘫的严重程度。下面分别介绍这两类方法。

House - Brackmann 面神经分级标准表(HB 评分量表)(附录 1)是美国耳鼻喉科-头颈外科学会面神经委员会推荐的用于评估面瘫损伤严重度的临床标准^[20],其优点是结构简单,无须辅助医疗设备;缺点是“因人而异”,其评估结果依据医师的主观经验判断,组间和组内差异性较大。同时,HB 评分量表中的分类原则只有专业临床医生才能熟练准确地应用,不同的临床医生由于自身经验以及对疾病的理解程度不同往往导致对同一患者作出相异的判断,给 Bell 面瘫的病情评估带来一定程度的误差^[21]。

由于 HB 评分量表存在客观量化不足的缺陷,目前基于此评分标准,大量的计算机辅助评估系统被提出。它们的共同点为要求受试者完成一系列的标准动作,采集图像或视频,利用图像处理或机器视觉中的一些方法,评价受试者动作的完成度,主要依据动作执行过程中患者面部的对称度来评定面瘫的严重程度。例如, Wachtman 等提出了一种面部特征自动追踪算法,在面部建立 19 个特征点,面瘫志愿者按要求做三种动作(抬眼眉、闭眼睛、笑),记录下这些影像,用一般的计算机视觉的方法自动追踪这些特征点,计算每种动作中最大的位置差,用于评估面瘫的严重度^[22]。Mitre 等提出的评估方法与 Wachtman 等人相似,但是增加了两种动作,采用线性分类器,准确率为 85.71%^[23]。Neely 等^[24-26]和 McGrenary 等^[27]分析了 Bell 面瘫患者的面部表情动作视频,以客观地评估面瘫病情严重度,虽然其实验结果和 HB 评分正相关,但是这类方法存在明显的缺陷:多数 Bell 面瘫患者存在面部表情肌群功能失调,不能完整准确

地完成其所规定的面部表情标准动作,同时,重复的面部表情会造成患者的心理抵触情绪。Park 等^[28]提出了一种可以在复杂环境下客观评估面瘫严重度的方法,主要通过点追踪、嘴唇分割等方法评估面部运动时的不对称度,其中,嘴唇分割采用模糊 c 均值聚类。Liu Y 等^[29-30]利用 Bell 面瘫患者的面部静态图片来检测面部双侧灰度的边界差与强度差,分析面部图像的不对称度,进行 Bell 面瘫的病情评估,由于一些人体的面部表情存在一定的天然不对称性,因此此类方法无法完全确定一个受试者的面部表情不对称是否由 Bell 面瘫所引发。当光线或拍摄角度等外界环境因素使得图像本身的效果不佳时,将会错误地评估 Bell 面瘫病情的严重度,不利于 Bell 面瘫患者的诊断与治疗。He S 等^[31]提出了一种基于光流法和径向基神经网络的 Bell 面瘫严重度视频分析系统,其使用机器视觉的方法分析 Bell 面瘫患者视频中的面部表情,检测面部表情动作中的不对称度,以此来衡量 Bell 面瘫病情的严重程度。He S 等又提出了利用视频中空间和时间上的多分辨率 local binary patterns (LBPs) 特征,采用支持向量机分类器的面瘫严重度评估方法,取得了 93.9% 的正确率^[32]。

国内,王绍宇等^[33]提出了基于主动形状模型和特征光流的面瘫严重度评估方法,在规一化面瘫患者的面部图像后,依据面部区域的表情运动特点,提出用于面瘫严重度评估的表情特征光流空间,通过对人体面部正常表情光流的主成分分析,建立正常人脸表情的光流特征空间,然后将待测试人体的面部表情光流投影到相应的面部表情光流空间,通过衡量特定面部表情特征光流的重建残差来评估面瘫病情的严重程度。

上述两类方法的缺点在于其不能准确地估计 Bell 面瘫患者的面部肌肉连带动作,并且计算机自动视频处理评估算法的计算复杂度较高、耗时较长,视频或图片中面部表情的对称性易受到外界环境的干扰,例如光照或拍摄角度等。此外,患者的心理接受度、主观配合程度和视频采集中头部的偏转等因素都将影响评估结果的有效性,降低其客观程度。

为了解决上述方法的不足之处,笔者等提出可以利用红外热成像分析 Bell 面瘫的病变程度,通过长期的临床观察,发现 Bell 面瘫患者面部相关穴位的左右双侧温差大于正常人,其中,颧髎、地仓、颊车、鱼腰、阳白五个穴位的双侧温差与面瘫的病变程度正相关,这为客观评估 Bell 面瘫病情的严重程度提供了理论基础^[34]。

1.2.2 Bell 面瘫的选穴方法研究现状

由于针灸方法操作简便、见效快、无毒副作用,因而在治疗神经损伤、肌

肉瘫痪等类病症上有着无可比拟的优势。采用针灸的手法治疗 Bell 面瘫在我国有着悠久的历史,美国医学会主编的《通用医疗程序编码》自 1998 年 1 月 1 日正式把针灸疗法纳入面瘫的有效疗法之中。针灸治疗 Bell 面瘫的机制在于调理经络以增加机体对外邪的抵抗力,提高神经兴奋性,加速血液循环,增强肌肉的运动能力,加速新陈代谢与神经侧支再生,恢复机体的功能,从而达到治愈 Bell 面瘫的目的^[35]。

穴位学名腧穴,中医学中定义为可以在人体上进行针灸治疗的部位,大多是神经末梢或者是较粗的神经纤维经过的部位,也称为穴或穴道。早在宋代,王惟一就已经重新厘定了全身穴位,编著了《铜人腧穴针灸图位》,并且首创地研铸了两座专门用于针灸教学和考试的铜人^[36]。依据中医学理论,人体穴位具有三大主要作用,其既是输入经络之气于体表的部位,又是将疾病反映在体表上的部位,同时还是针刺、艾灸、按摩和推拿等疗法的操作部位。总之,穴位作为经络的连接点,对穴位点进行刺激,就能起到疏通经络、治疗疾病的目的^[37]。

不同的穴位对应不同的脏器,与之相连的神经末梢和神经纤维也不同,因此,采用不同的方法刺激不同的穴位,对应可以预防和治疗的疾病也不尽相同。通过分析和研究不同穴位的诊疗作用,就可以判断出哪些穴位对 Bell 面瘫具有治疗作用。通过大量的临床研究,目前临床上治疗 Bell 面瘫常用的面部穴位有 14 个,其中,面部正面的穴位是:四白,颧髎,攒竹,鱼腰,丝竹空,迎香,人中,阳白,口禾髎,地仓,承浆;侧面的穴位是:太阳,下关,颊车^[38]。

每个 Bell 面瘫患者不同时期的病情严重程度都有所不同,因此医师需要从 14 个穴位中选出对症的穴位进行针刺治疗。梁繁荣等根据新中国成立以来针灸治疗面瘫临床研究文献的方法学评价,筛选出 6 个常用穴位:地仓、颊车、合谷、阳白、下关、翳风,合谷穴取双侧,其余均取患侧进行针刺治疗^[39-40]。安珂选用攒竹、四白、颧髎、地仓、下关、颊车等穴位,采用平补平泄手法,结合定位诊断,实验结果显示可以提高 Bell 面瘫的痊愈率^[41]。杨松柏等根据 100 例 Bell 面瘫的临床观察,提出选择阳白、四白、丝竹空、下关、颊车、地仓为针刺穴位^[42]。

在针刺临床中,对同一个病人,不同的医生由于经验判断的不同可以给出不同的选穴方案,而选穴不当又可能导致治疗不起作用或疗效不显著, Bell 面瘫选穴不当可能导致延误治疗时机和后遗症的产生。因此,如何在针灸治疗中运用现代科学方法指导针灸的穴位选择,建立一种客观规范的 Bell 面瘫选穴方法,是针灸临床中有待解决的问题,也是针灸诊疗技术创新发展的重要课题。

张栋等提出一种基于红外热成像的面部疾病客观选穴方法,在 Bell 面瘫的每一个疗程中,选取患者健患双侧温差大于 0.5°C 的穴位进行针刺治疗,通过 120 例的临床观察,红外热像选穴法的疗效优于常规选穴法,其中,地仓、迎香、太阳、阳白、颧髎为选择频率最多的 5 个穴位^[43]。

1.2.3 红外热成像用于 Bell 面瘫严重程度评估和针灸选穴研究现状

所有高于绝对零度 -273°C 的物体都会发射红外辐射,霍尔兹-波兹曼发现红外辐射与温度之间的关系是,物体表面发射的红外辐射与物体表面的辐射率及绝对温度成正比^[44]。人体的辐射率接近 1%,类似于黑体,即几乎能 100% 地辐射红外能量。人体体表的热辐射主要集中在 $6 \sim 15\mu\text{m}$ 的红外波段,对应的热辐射峰值波长约为 $9.4 \sim 9.9\mu\text{m}$,这样就可以通过人体皮肤的红外辐射得出人体体表的温度分布^[45]。利用红外探测装置检测人体体表各点发射的红外热辐射强度,可以得到一幅记录人体体表皮肤温度分布的图像即红外热像。医学红外热成像技术是对病人身体表面及热区温度进行检测、记录、成像的一种手段,可以提供相关区域的温度对比信息,对温度区域进行定性和定量检测。此外,医学红外热成像技术没有离子辐射,无须静脉注射,也没有其他入侵程序,完全是一种无害、无毒、非入侵的医学检测技术^[46-47]。

当人体局部出现某些病变时,患处的机体组织代谢、血液循环将会发生改变,引起温度变化,导致此处的温度异常^[48]。目前,红外热成像技术已被广泛应用于乳腺癌^[49-50]、肌筋膜创伤^[51]、颞下颌关节炎^[52]、局部炎症^[53]等病变的早期检测与病情的评估。正常人体面部的温度与真皮乳头下毛细血管网的血流量有关^[54],血管网络在面部大致呈左右对称分布,因此正常人体面部的温度左右分布均匀,对称度高,局部组织左右两侧的温差在 0.3°C 以内^[55]。Bell 面瘫发病后,患侧的面神经受损,面肌运动功能丧失,将引起炎症反应和异常的血运状况,导致患侧病变区的温度异常^[56]。利用红外热成像技术可以将红外热辐射以温度分布图的形式记录下来,清晰地显示这些异常,对比病变区域与其对侧健康区域的温度分布信息的差异,可以用来评估病变的严重程度,被称为红外热不对称分析^[44]。在红外热像图的分析中会涉及一个感兴趣部位 (Region of Interest) 提取的概念,它是指在研究中想要研究的或者令研究者感兴趣的部位,这个概念最早是由 Montoro 和 Anbar 等提出来的,他们提出了两种获取 ROI 区域的分割方法^[57-58]。随后其他研究学者又提出了一些不同部位 ROI 区域的分割方法^[59-60]。但是,传统的红外热不对称分析,仅仅依靠医师的主观观察,提取这些异常区域的平均温度值,计算对侧温差,不足以解决面神经功能评估

中的主观性问题。近期,一些改进的计算机辅助热不对称分析方法被提出,例如,Herry 等利用两侧对应区域的直方图的欧氏距离来表示热不对称性系数^[61],Huygen 等利用患侧和健侧的直方图的相关系数来表示热不对称性系数^[62],Pavlidis 等利用红外热像提取热不对称性系数在群体安全筛查方面取得了成功^[63]。

利用红外热成像辅助面瘫的严重度评估和治疗是目前的一个研究热点,其中,周章玲等发现远红外热像可较好地反映急性周围性面瘫患者针刺治疗前后头面部供血状态的变化,针刺治疗前急性期面瘫侧呈充血性改变,患侧面颊、眼角、眶上、额及舌区五个测温区温度明显高于健侧,表明远红外热像可为临床诊断和治疗急性面瘫提供无创的客观评价指标^[64];Popat 等提出利用非结构化红外投影的方法对面部肌肉运动进行 3D 建模^[65-66];张栋等使用红外热成像系统分别测定 Bell 面瘫患者治疗前后的面部温度分布热像图,发现 Bell 面瘫患者的面部左右双侧温差显著大于健康人群,而且与 Bell 面瘫病情的严重程度以及恢复程度相关,如果针刺治疗后穴位的升温效果比较明显,那么预后较好,此项研究为临床预测 Bell 面瘫预后提供了一个新指标^[43, 67-69]。吴振英等使用红外热像仪观察面瘫患者每一针刺疗程前安静状态下面部穴位温度情况,统计双侧穴位温度不对称性系数,结果显示,阳白、攒竹、地仓、鱼腰、颧髻、颊车六穴温度不对称性系数与面瘫面部残疾指数存在显著负相关性,面瘫患者面部双侧穴位温度不对称性系数可以作为一种新的面瘫严重度客观评估指标^[70]。高宇红等指出远红外热像可较好地反映 Bell 面瘫患者头面部供血状态的变化,急性期面瘫侧呈充血性改变,慢性期面瘫侧呈缺血性改变,表明远红外热像可为临床诊治 Bell 面瘫提供无创的客观评价指标^[71]。

1.3 本书的主要内容

本书在国家中医药行业科研专项“针灸临床选穴新技术新方法研究——基于面部疾病红外热像针灸选穴方法的建立”(课题编号:200707022)、国家自然科学基金“基于面部红外热像温度分布特征的面神经功能定量评估关键技术研究”(课题编号:61401080)以及教育部基本科研业务费(N130323021)的资助下,研究基于红外热像图的 Bell 面瘫针灸选穴和严重度客观评估方法,具体的研究和实验技术路线图如图 1-1 所示。

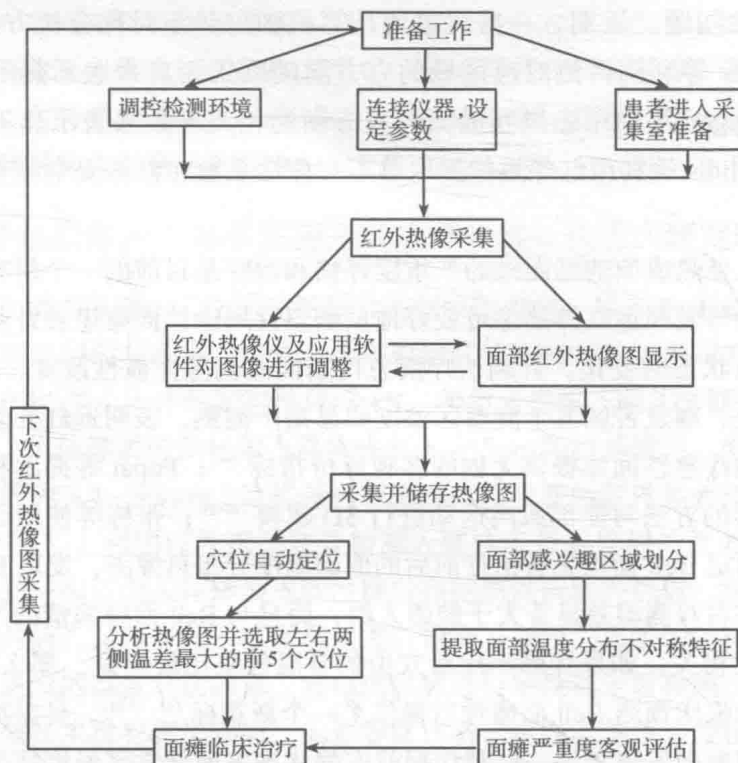


图 1-1 研究和实验技术路线图

本书的主要内容包括三部分：第一部分，为了客观比较 Bell 面瘫患者面部两侧穴位的温差，提出了一种基于面部温度分布特异性和边缘特征的面部穴位自动定位算法；第二部分提出了两种新的 Bell 面瘫面部温度分布不对称特征的表达方法，结合 BP 神经网络构建了 Bell 面瘫严重程度客观量化分类器，并且利用形式概念分析，定性地分析了面部不同区域温差与面瘫严重度的关联规则；第三部分提出了利用红外热像选择面部温差最大的五个穴位进行 Bell 面瘫临床治疗的方案，开展了 Bell 面瘫临床单盲随机对照实验研究，比较了红外热像选穴法与常规辨证选穴的临床疗效和治疗时间，验证了红外热像选穴法的临床优势。本书的结构安排如下。

第 1 章综述了基于红外热像图的 Bell 面瘫针灸选穴和严重程度客观评估方法的研究现状。

第 2 章主要阐述了红外热像 Bell 面瘫客观选穴与严重程度评估方法的理论基础，通过 65 例的 Bell 面瘫临床实验，初步验证了面瘫患者的面部温度分布与健康人的区别；通过对 Bell 面瘫面部双侧穴位的温差与面瘫的严重程度的相关分析，验证了利用红外热成像分析 Bell 面瘫患者面部温度分布的变化规律，以

及用于 Bell 面瘫的客观选穴与严重度评估在理论上的可行性。

第 3 章重点论述了 Bell 面瘫红外热像面部穴位自动定位算法。其中, 主要依据人脸生理结构导致的温度特异性和由温度变化形成的图像边缘自动定位面部主要器官的水平及垂直位置坐标轴, 利用面部穴位与面部主要器官位置坐标轴的相对距离来自动定位治疗 Bell 面瘫所需的主要穴位。其中, 温度特异性主要选取鼻翼与眼睛两个特异性较强的区域, 其主要是由面部器官造成的温度变化引起的; 而对于嘴唇这样的温度特异性相对较弱的区域, 则利用其温度递变性形成的边缘完成定位; 其他器官则是综合了温度特异性与边缘特征来完成定位的。在整个定位过程中, 都利用到了人脸器官分布相对位置的先验知识, 从而有效地去除了大部分干扰, 做到了快速定位。最后, 通过对临床采集的 Bell 面瘫红外热像进行穴位自动定位实验验证了算法的有效性。

第 4 章提出了两种新的面部温度分布不对称特征的表示方法: (1) 面部温度分布不对称度, 即面部红外热像图健患双侧的局部二值模式 (LBP) 的直方图距离; (2) 有效热面积比, 即计算面部特定区域与对侧区域的温差乘以温度异常区面积与总面积之比。此外, 为了去除红外热像的环境温度干扰, 提出了采用基于皮肤传热模型的去噪算法。在本章中, 提出了定性和定量两种 Bell 面瘫严重度分类方法。其中, 主要的客观量化评估方法将面部温度分布不对称特征作为分类器的输入参数, 通过对不同分类器的实验比较, 采用 BP 神经网络作为 Bell 面瘫严重度自动分类器; 定性评估方法以形式概念分析为基础研究面部左右两侧特定区域的温差与 Bell 面瘫严重度的关联规则, 以属性偏序结构图可视化温差与面瘫严重度的依赖关系。

第 5 章为红外热像选穴临床单盲随机对照实验。其中, 红外热像选穴法作为实验组, 常规辨证选穴法作为对照组。在本章中, 明确规定了实验对象的纳入、排除和随机分组标准, 以及针刺治疗的方法和疗程。在实验结果的统计分析中, 比较了两组的临床疗效和治疗时间, 并对红外热像选穴组中面部各个穴位的使用频率进行了分析。实验结果验证了红外热像选穴在 Bell 面瘫治疗中的可行性, 并为其他面部疾病的针灸选穴提供了新的思路。