

# 中医脉象信息检测方法研究的新进展\*

蔡 骏<sup>1Δ</sup> 周昌乐<sup>1</sup> 黄 旭<sup>1</sup>综述 张志枫<sup>2</sup>审校

1 (厦门大学 计算机科学系 人工智能研究所, 厦门 361005)

2 (上海中医药大学 基础医学院, 上海 201203)

**摘要** 概括了用于脉象信息描述的相关物理量,在此基础上对脉象信息的单触头压力检测方法、多触头压力检测方法和非压力检测方法进行了综述。认为脉象信息全方位、动态采集和分析的实现有赖于脉象形成机理和脉象信息特征的进一步研究,以及脉象物理模型和数学模型的建立。

**关键词** 脉诊客观化 中医脉象信息检测 中医脉象传感器

## Current Progress of Research on Measuring Sphygmus Information

Cai Jun<sup>1</sup> Zhou Changle<sup>1</sup> Huang Xu<sup>1</sup> Zhang Zhifeng<sup>2</sup>

1(Institute of Artificial Intelligence, Department of Computer Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

2(School of Basic Medical Sciences, Shanghai University of T. C. M., Shanghai 201203, China)

**Abstract** Based on summarizing the physical features to describe the sphygmus information in traditional Chinese medicine (TCM), this paper surveys the methodologies of sphygmus measuring, such as single-probe measurement and multi-probe measurement based on pressure sensors, as well as measurement methods based on non-pressure sensors. It is concluded that to achieve the comprehensiveness on the sphygmus information measurement and analysis, researchers need to do further studies of the underlying mechanism and the information properties of the sphygmus. In addition, the sphygmus system should be modeled physically and mathematically.

**Key words** Instrumentation of TCM sphygmus diagnosis TCM sphygmus state measurement Sphygmus sensor

## 1 引言

中医脉诊作为一种无创检测的手段和方法得到了广泛的临床应用。为了提高脉诊的诊断水平、促进脉诊在以科学技术为基础的现代临床诊断中的有效应用,从20世纪50年代起,许多不同学科的学者开展了脉诊客观化<sup>[1,2]</sup>的研究。一方面,对脉象形成的生理学机制以及在生理、病理上的意义进行了比较深入的研究,在此基础上尝试采用数学方程、物理模型或者波形图等形式来表述常见脉象的特征。另一方面,许多不同学科的研究者运用现代检测技术的方法和手段,将脉象的物理特征描绘、记录下来,对所得到的脉图进行定性和定量相结合的识别和分析,目前,脉象的检测方法、检测技术研究开展得相当活跃,正在多方法、多学科协同的基础上逐步得到深化。

## 2 脉象信息的数理描述

从测量学的角度来看,传统脉诊中普遍采用的

“独取寸口诊法”手指切脉是医者以自己的手指作为传感器,依靠指端的触觉、压觉、振动觉对被诊者的脉速以及左、右掌后桡动脉寸、关、尺三部的脉动压力及其分布情况进行检测,并通过指法的变化来检测桡动脉管在受到各种干扰力的情况下上述各被测量的动态变化。由于诊脉以手指为工具、以经验作为判断依据,因此医者用手指测得的脉象并非是各个被测量的一个精确的数值集合,而是医者指面在不同的指法下对被测者脉搏搏动时其皮下桡动脉管的各种运动形式的感觉和总体印象。手指脉诊中所采用的传感器的性能是不统一、不标准、不恒定的,这个特点从根本上决定了手指脉诊带有主观性,是一种模糊的、不准确的测量。此外,由于被诊者的人体差异以及医者师承经验的不同,使得脉象的辨认、识别缺乏统一、精确的标准。要实现脉诊的客观化,首先要求人们采用现代生理学的方法来阐明脉象的形成机制,进而用各种相关的物理量来量化地描述脉象的特征、分析脉象的信息结构,并在此基础上建立脉象的数理模型,采用相关的物理传感器来实现脉象信息的检测。

生理学研究<sup>①</sup>表明,脉象主要综合了心脏和血

\* 国家自然科学基金项目资助“中医头面神色信息提取及其辩证推演方法研究”(60672018)

Δ 通讯作者。E-mail: mikccai@xmu.edu.cn

管的舒缩运动、血管管道的弹性振动、以及在手指压力的干扰下血流和血管运动的变化所产生的多种信息,是这三种主要运动在寸口处使医者的手指产生的连续时间的空间立体感觉。根据这样的认识,从 20 世纪 80 年代开始,众多脉学家对脉象的信息构成进行了研究<sup>[1,2]</sup>,文献[2]概括了脉象的信息特征,认为切脉时浮取、沉取所感受的脉管运动形式是不同的,浮取时感知的主要是桡动脉管壁的位移,而沉取时感知的是压力脉搏波;在此基础上对中医 27 脉各种指感的物理因素作了分析,对脉象的函数表达和曲线族进行了研究,得出了各种脉象与相应的物理变量之间的函数关系,这些物理量包括:时间、位移脉搏波随时间变化的形态、压力脉搏波随时间变化的形态、医生手指施加于诊脉部位上的压力、位移及压力脉搏波的最佳切脉压力、脉搏的频率和脉道大小等。这些物理量综合地反映了脉象在时间、空间上的分布形态。对脉象的一系列生理、物理研究以及实践都表明,上述各物理量的集合能够较为全面地表征指感脉象的特点。然而,这种表征方式存在着局限性,采用这些物理量只能建立脉象的经验性表象描述,并不能从生理机制上刻画脉象的内在本质。

脉象研究要突破上述经验性表象描述的局限,真正与现代数理科学相结合,就必须从心脏运动和动脉管道运动的生物力学特征入手,建立脉象的生理、数理模型。对动脉壁的生物力学研究已历经了近 40 年的历史,其开创者 Y. C. Fung(冯元桢)采用拟弹性理论来表述动脉壁的本构关系,建立了动脉应力分析的七参数模型<sup>[4]</sup>。许多学者在此基础上深入研究了动脉壁的力学性质<sup>[4-6]</sup>,为血流脉搏沿动脉的传播建立了数值分析方法。在脉象研究中十分有必要引入这些生物力学研究的方法和成果,分析、揭示脉象的表象描述与心脏运动、动脉血管运动的生物力学特性之间的内在联系,只有如此,才能使脉诊客观化的研究由目前感性认知占主导地位的层次上升到理性认知的层次。

### 3 脉象信息的单触头压力检测方法

文献[1]提出了脉象信息检测的一种简化物理模型,以压力脉搏波为测量对象。在这个模型中,传感器带有一个模拟指面感受压力的触头以及一个施加静压力的调节机构,它们均安装于固定的框架上。研究表明,压力传感器的感压触头应采用刚性材料,这种刚性材料的传感器触头虽然与由生物组织构成的指面相比有很大的差别,但有着测量精度高、重复

性好等优点。文献[1]在上述模型的基础上进一步分析了检测到的压力脉搏波的振幅与取脉静压力之间的关系。检测脉象时,当传感器触头以一个预压力按压在桡动脉管外的“皮肤-软组织”上后,皮肤软组织和桡动脉管发生形变。皮肤表面的张力使得触头受到一个反压力,因而使传感器输出一个直流电压。此外,由于受到脉搏搏动过程中桡动脉管径向搏动力和轴向张力变化的作用,传感器还输出一个交变电压。传感器输出的直流电压值即代表了取脉压力值,而交变电压随时间变化的曲线波形就是所谓的“脉搏波”或“脉图”。如果在测量过程中改变取脉压力,那么脉图的幅度会随之变化。由小到大改变取脉压力值,当增大到某一数值时,传感器触头下的软组织处于不可压缩状态,因而在其中形成了均匀力场。此时,桡动脉管壁的搏动压力与触头施加的外压力接近平衡,脉搏波的幅度达到最大值,且波形形态清晰。这时所对应的取脉压力称为最佳取脉压力,对应的脉搏波形称为最佳脉图。

在数十年的研究历史中,脉象检测主要采用了上述的压力检测方法,传感器的类型以压力传感器为主,以压力脉搏波)为主要检测对象。目前用于脉象信息检测的压力传感器的主要种类包括:应变式电阻传感器、压电晶片传感器、液态传感器、PVDF 压电薄膜传感器、扩散硅压力传感器等<sup>[7,8]</sup>。其中,带刚性触头、采用悬臂梁结构的半导体应变片式电阻传感器由于其性能稳定、灵敏度高、谐振频率大、受环境温度影响小等优点而得到了最为广泛的应用<sup>[9,10]</sup>。有一些单触头压力脉波传感器采用了软接触式的触头,例如在触头的端面上设置一层橡胶材料传压膜。这种设计的出发点是力图改善触头与“皮肤-软组织”的接触性能。文献[1]指出,这种结构的传感器往往频率响应特性比较差,并且由于橡胶材料容易老化,其机械物理性能难以保持长期稳定。

目前常用的单触头压力脉波传感器在整体结构上主要采用了表带式 and 支架式两种形式。表带式结构一般是通过尼龙绑带将传感器绑扎在被测者的腕部,操作方便、简单,记录的脉图受人体体位和呼吸的干扰较小。支架式结构的特点是传感器固定在加压机构上,无须绑扎被测者的腕部,因而可以避免绑扎所引起的附加张力,与医者手指切脉的情景较为相符,但是由于人体体位和呼吸的影响,被测者手腕与传感器之间的相对位置难以保持稳定,检测过程中会产生较大的呼吸干扰和杂散振动干扰。

另有一种指套式的单触头压力脉波传感器结构

值得注意。美国 J. H. Laub 在 20 世纪 80 年代设计的一种脉搏波动检测装置<sup>[16]</sup>将压力传感器分别并排固定于食指、中指、无名指的手套前端,按在被测者的寸、关、尺三部上,用三支电动描记笔同时记录三部脉的波形,用于进行脉象分析,并且可以将医者的取脉压力也同时显示出来。用这种结构的传感器进行脉象信息检测,很好地模拟了手指切脉的情景,如果通过一定的设计使指套前端具有良好的力传导性能的话,那么在诊脉过程中除了由传感器检测脉波之外,医者还能根据指端对脉搏波动的感受来进行各种灵活的指法变化,从而测得不同取脉压力下脉搏波动的动态变化。这种指套式结构所具有的良好模拟特性使得它具有一定的实用性,但是也有文献指出,这种结构形式难以保证医者指端与被测者腕部之间的位置相对稳定,以至于记录的脉图波形缺乏足够的稳定性,而且检测结果的重复性较差。

#### 4 脉象信息的多触头压力检测方法

研究发现,上述采用单触头传感器检测脉象的方法至少存在着另外两方面的不足:(1)与桡动脉管轴向张力相关的脉象特征无法区别于与径向搏动力相关的脉象特征;(2)无法将皮肤软组织的受压变形与“皮肤-软组织-桡动脉管”本身具有的硬度、弹性等力学性质区别开来,因而就无法区分它们对取脉压力的影响程度。

为了克服单触头传感器检测方法的各种缺陷,研究者们提出了多种改进型的脉象检测方法,用以实现脉象中所包含的多种力学参数的检测。一种有效的改进型检测方法被称为“双探头脉象检测法”<sup>[17,18]</sup>,所采用的传感器由两个同心安置的环型力敏感元件组成,具有如下特点:(1)中心力敏感元件的感压探头不受脉管轴向张力的影响,只感受脉管的径向搏动力;(2)中心敏感元件和外围敏感元件的输出静电电压的比值与“皮肤-软组织-桡动脉管”系统的等效硬度相关;(3)两个敏感元件输出脉动电压的差值与桡动脉管轴向张力变化相关。这三方面的力学参数的检测对中医脉象的客观表达有重要的意义。

另一种改进型的脉象检测方法是多个测压探头组合在一起,形成多探头或阵列式的组合脉波传感器,可以检测寸、关、尺各部脉搏波形的不同变化,将空间分析的方法引入到了脉象的检测和识别当中,同时还可以起到消除由单点测量而带来的偶然误差的作用。另外,可以在桡动脉管径向布置多个探

头,以得到脉图沿血管径向的变化信息,从而获取沿桡动脉径向分布的脉道宽度等脉象特征<sup>[14]</sup>。各种组合式的脉波传感器还可以采用“中突型”的触头结构,即位置处于阵列中间的触头的端面比周边触头的端面高出 1 mm 左右的距离,在检测脉象时,端面高出的中间触头压在桡动脉的中心,可以使桡动脉被触头加压以至阻断,使脉搏波动在空间上被划分为与多个触头相对应的多个具有不同生理意义的小区,从而能检测出桡动脉内血流状况、脉波传播速度等信息,并且能比较压阻点近心侧和远心侧脉波的差别。

#### 5 非机械压力式检测方法

上述的各种脉象检测方法单一地以压力脉波作为检测对象,尽管能实现脉象的定量分析,并具有科学性和客观性,但还是存在着相当大的局限性,不能全面地检测出脉象的丰富信息。文献[15]从脉搏波动的物理、生理机制上阐述了脉象振动成分是脉搏波及其谐波分量存在的客观表现形式,认为脉搏波中的谐波分量是脉象振动觉的物质基础,寸口皮肤表面一定频率范围内的微小位移使指面产生了振动觉。从本质上讲,脉象振动觉是脉搏波的谐波频域特性所产生的指感特征。文献[15]引述了国内外多位研究者对脉搏波频谱特性的研究,认为脉搏波的频域特性与人体不同脏器的疾病有密切联系,因此脉象振动觉有助于疾病的诊断。基于对脉搏振动特性的认识,研究者提出了一种采用声波传感器检测脉搏信号的方法,可以看作是对脉象振动觉的检测。

除此之外,可用于脉象波形描记的测量方法和传感器种类还有很多,例如采用光纤传感器检测脉搏的振动,采用超声技术检测桡动脉血流图,用微波多普勒技术测量桡动脉壁随压力脉搏波的搏动,以及测量脉动过程中寸口皮肤表面电阻抗的变化等等<sup>[16]</sup>。由于这些检测方法与中医切脉技术的特点(加干扰力条件下手指切脉)相差甚远,获得的脉象波与中医典籍中有关的脉象描述难以对照比较,故目前尚未像采用各种压力传感器检测压力脉搏波的方法那样得到广泛应用。尽管如此,许多实践表明,这些“非机械压力式”的检测方法在阐明脉象的形成机理方面存在一定的价值,值得进一步研究。

#### 6 讨论与展望

半个世纪以来,国内外有众多学者都致力于中医脉诊客观化、脉象检测现代化的研究,期望用现代

医学方法及电子仪器设备来解决中医脉诊“指下难明”的问题。尽管这些研究都取得了一定的进展,形成了许多有效的脉象信息检测方法,研制出了多种多样的脉象检测仪器,但是,众多研究者在脉象检测的方法学上尚未达成一致,主要表现在:(1)对脉象特性缺乏统一的认识;(2)对脉象的表述没有一致的方法;(3)在脉象测试仪器的性能、规格以及测试方法上还未形成统一的标准,测试数据达不到规范化、结构化的要求。这使得脉象检测以及脉诊客观化的研究在今天还远未成熟。

目前,采用压力传感器检测寸口压力脉波的方法得到了较为普遍的认可,并且得到了广泛、有效的应用。但是,简单的几个压力传感器并不能模拟由复杂的神经触觉细胞所组成的手指触觉感知系统,单一采用压力检测的方法不足以获得手感诊脉时所感受到的诸多脉象信息,而且压力传感器触头与寸口处的压力接触还对脉象信息造成了干扰。因此,通过压力传感器检测到的各种压力脉图还不能从本质上表征脉象的客观特性,还达不到客观、定量地进行脉象分析的要求。此外,手感诊脉时所感受到的脉象信息既包含了压力量,有含有位移量。因此单纯采用压力检测或单纯采用振动位移检测的方法都只是一个片面的角度去考察脉象,都不足以获取丰富、完整的脉象信息。

为了实现脉象信息的动态、全方位采集和分析,使脉诊方法得到客观化的临床应用,首先必须采用现代生理学、病理学的方法来进一步研究脉象的形成机理和脉象的信息特征。另一方面,必须深入进行脉象的模型化研究,采用生物力学的方法建立脉象的物理模型和经验数学模型,在理性认知的层次上研究脉象。以此为基础,进一步丰富和完善脉象信息的检测方法,充分利用电子测量、计算机应用等相关领域的新技术,将多重传感系统有机地集成起来,在脉象传感器技术上取得突破,并结合智能化的信息和数据处理方法,设计、研制出具有高时空分辨率的脉象检测、分析仪器。

### 参 考 文 献

- 1 Fei ZF. Contemporary sphygmology in traditional chinese medicine. Beijing: People's Medical Publishing House, 2003: 1-154| 费兆馥. 现代中医脉诊学. 北京: 人民卫生出版社, 2003: 1-154|
- 2 Li JT. The objective detection and description of the types of pulse based on the chinese traditional medical science. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2001; 25(6) 318| 李景唐. 中医脉象的客观描述和检测. 中国医疗器械杂志, 2001; 25

- 3 Wang DS, Lei L, Li XF, et al. Research on the formation of sphygmus in traditional Chinese Medicine Based on Poiseuille's Law. Chinese Journal of Basic Medicine in Traditional Chinese Medicine, 2001; 7(6) 5| 王东生, 雷磊, 李新芳等. 从泊肃叶定律看中医脉象形成的机理. 中国中医基础医学杂志, 2001; 7(6) 5|
- 4 Li XY, Zeng YJ. Three dimensions constitution of arterial walls with residual stress factor. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2002; 21(1) 28| 李晓阳, 曾衍均. 动脉壁三维含残余应力因素的本构方程. 中国生物医学工程学报, 2002; 21(1) 28|
- 5 Cai SX, Wang GX, OuYang KQ, et al. An experimental investigation on the accumulation of tensile membrane stress in vascular endothelial cells. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2002; 21(1) 9| 蔡绍哲, 王贵学, 欧阳克清等. 关于血管内皮细胞膜张应力累加效应的实验研究. 中国生物医学工程学报, 2002; 21(1) 9|
- 6 Li XY. Studies of macroscopically mechanical properties of arterial walls. Advances in Biomechanics, 2001: 112-119| 李晓阳. 动脉壁宏观力学行为的研究. 生物力学的最新进展, 2001: 112-119|
- 7 Cai YH, Shen LS, Huang XL. Progress of the pulse analytical instruments. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2002; 16(4) 55| 蔡铁珩, 沈兰苏, 黄祥林. 脉象分析仪的研究进展. 电子测量与仪器学报, 2002; 16(4) 55|
- 8 Wang BH, Xiang JL. The progress in research for human pulse system modeling and pulse condition information analysis. Journal of Biomedical Engineering, 2002; 19(2) 329| 王炳和, 相敬林. 脉搏系统建模与脉象信息分析的研究进展. 生物医学工程学杂志, 2002; 19(2) 329|
- 9 Wang YJ, Wang JS, Cai XJ. Design of the MXY-II sphygmus instrument. Modern Medical Science Apparatus and Application, 2000; 12(1) 6| 王贻俊, 王劲松, 蔡新吉. MXY-II 型脉象仪的设计. 现代医学仪器与应用, 2000; 12(1) 6|
- 10 Liu Q, Gao L, Yang GX. Home-use pulse signal instrument system design. Journal of Wuhan University of Technology, 2001; 23(4) 48| 刘泉, 高路, 杨广昕. 家用脉象图仪系统设计. 武汉理工大学学报, 2001; 23(4) 48|
- 11 Liu M, Hao XM, Chen Q. An exploration of the research on the objective implementation of sphygmology in TCM. Correspondence Journal of Traditional Chinese Medicine, 2000; 19(2) 9| 刘梅, 郝小梅, 陈群. 中医脉诊客观化研究新探. 中医函授通讯, 2000; 19(2) 9-11|
- 12 Tang WC. The development of a double sensor for the pulse. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2000; 24(1) 16| 汤伟昌. 双探头复合式中医脉象传感器的研究. 中国医疗器械杂志, 2000; 24(1) 16|
- 13 Tang WC, Sun HJ, Li BF. Research on the two-channel method for sphygmus detection in traditional Chinese Medicine. Chinese Journal of Medical Science and Pharmacology, 2000; 15(1) 14| 汤伟昌, 孙汉钧, 李斌芳. 双路中医脉象检测方法的研. 中国医药学报, 2000, 15(1) 14|
- 14 Tang WC, Sun HJ. Research on the multi-channel method and sensor for sphygmus detection. Chinese Journal of Traditional Medical Science and Technology, 2003; 7(5) 319| 汤伟昌, 孙汉钧. 多路脉象检测方法和换能器的研究. 中国中医药科技, 2003; 7(5) 319|
- 15 Shou XY. Snesation of the vibration in TCM. Sphygmus detection. Journal of Beijing University of TCM, 1998; 21(1) 23| 寿小云. 中医脉象振动觉. 北京中医药大学学报, 1998; 21(1) 23|
- 16 Liu WN. Progress of the application of ultrasonic technology in the objective detection of sphygmus. Chinese Journal of Medical Science and Pharmacology, 2003; 18(9) 557| 刘文娜. 脉诊客观化研究的超声技术应用进展. 中国医药学报, 2003; 18(9) 557|

(收稿: 2004-10-28 修回: 2005-09-08)