

· 专题综述 ·

〔文章编号〕 1007-0893(2022)04-0117-04

DOI: 10.16458/j.cnki.1007-0893.2022.04.037

基于血流频谱波形及血流参数分析评估 动脉狭窄性病变的研究进展

方永涵^{1,2} 熊华花^{1*}

(1. 深圳大学第一附属医院 深圳市第二人民医院, 广东 深圳 518035; 2. 汕头大学医学院, 广东 汕头 515041)

〔摘要〕 动脉血流频谱波形曲线上蕴含丰富的血流动力学信息, 动脉重度狭窄、闭塞时, 其上下游动脉的频谱形态会有特征性的改变, 可通过上下游动脉的频谱形态来评估动脉狭窄、闭塞性病变。如何有效提取其中与诊断有关的血流参数, 使诊断更准确, 一直为国内外研究者所关注。本研究介绍了时域分析、频域分析、建模分析等当前血流频谱波形分析的主要研究方法及血流参数提取的研究进展, 并对未来血流动力学特征性参数的研究方向进行展望。

〔关键词〕 动脉狭窄性病变; 血流动力学; 血流频谱分析; 快速傅里叶变换

〔中图分类号〕 R 445 〔文献标识码〕 A

Research Progress in the Evaluation of Arterial Stenosis Based on Blood Flow Spectrum Waveform and Blood Flow Parameters

FANG Yong-han^{1,2}, XIONG Hua-hua^{1*}

(1. The First Affiliated Hospital of Shenzhen University, The Second People's Hospital of Shenzhen, Guangdong Shenzhen 518035; 2. Medical College of Shantou University, Guangdong Shantou 515041)

〔Abstract〕 Blood flow spectrum waveform curve contains abundant hemodynamic information. When the artery is severely stenosis or occlusion, the spectral morphology of the upstream and downstream arteries will have characteristic changes. The spectral morphology of the upstream and downstream arteries can be used to evaluate the arterial stenosis and occlusion. How to effectively extract the blood flow parameters related to diagnosis and make diagnosis more accurate has always been the concern of researchers at home and abroad. In this study, the main research methods of current blood flow spectrum waveform analysis, such as time domain analysis, frequency domain analysis and modeling analysis, and the research progress of blood flow parameter extraction are introduced, and the future research direction of characteristic parameters of hemodynamics is prospected.

〔Keywords〕 Arterial stenosis; Hemodynamics; Flow spectrum waveform analysis; Fast Fourier transform

动脉粥样硬化斑块造成血管狭窄、闭塞, 使人体重要组织器官发生缺血缺氧, 导致脑梗死、心肌梗死、下肢溃疡坏死等, 成为致残和致死的主要原因。早期诊断血管狭窄、闭塞性病变有利于临床早期干预和治疗, 能够有效预防缺血或梗死的发生^[1]。超声技术因其无创、便捷、可重复、价廉、无电磁辐射、无对比剂肾损害等优点, 尤其是对于血管的血流动力学功能的判断, 是其他影像学检查方法难以比拟的, 因此成为血管检查的首选影像学筛查方法, 使病变检出率得到提高。

超声在血管检查中的运用也受限, 部分动脉可能会由于位置较深, 相对较细, 或者受身体肥胖、肠气以及钙化斑块后方声影的干扰, 二维超声常不能满意地显示此类血管局部狭窄情况, 难以明确诊断狭窄程度, 颅内血管超声也难以直观显示血管内二维图像, 仅能靠血流频谱形态、血流速度、血流动力学参数来分析诊断^[2]。此时, 对血流频谱波形进行分析处理, 提取其中包含的生理病理信息, 并将其应用于临床诊断或疾病预防, 一直是国内外学者研究的重点。

〔收稿日期〕 2021 - 12 - 12

〔基金项目〕 广东省自然科学基金项目(2020B1515120061); 深圳市第二人民医院临床研究基金广东省高水平医院建设项目(20213357016); 深圳市科技创新委员会项目(2021Szvup052); 深圳市三名工程项目(SZSM201612027); 深圳市重点医学学科建设基金项目(SZ XK 052)

〔作者简介〕 方永涵, 男, 在读硕士研究生, 主要研究方向为心血管疾病的超声诊断。

〔*通信作者〕 熊华花 (E-mail: dennis8710@163.com)

1 时域分析

血管狭窄闭塞后, 狭窄段上游及下游会发生相应的血流动力学变化, 包括彩色多普勒频谱形态、血流速度、阻力指数和加速时间等会有特征性的改变^[1-3]。时域分析是指对时域上的血流频谱波形及波形上的血流速度、时间、加速度等特征参数进行分析, 研究频谱形态、血流动力学参数与人体生理病理变化的关系。

动脉频谱形态异常可以提示病灶部位和病变程度。与正常频谱相比, 国内外学者将异常频谱形态分为低速低阻、低速高阻、低速单峰几类, 能够很好地提示血管病变^[2-3]。动脉频谱形态呈低速低阻时多提示动脉近心端重度狭窄或闭塞, 低速高阻时多提示动脉远心端重度狭窄, 低速单峰时多提示动脉远段闭塞可能。频谱形态可以反映血管血流动力学变化, 但不足之处在于没有将之具体量化, 评估频谱形态异常依赖诊断医师的经验, 具有一定的主观性。

血流动力学参数能够定量分析动脉频谱形态, 为临床提供客观的评价指标。血流动力学指标又分为直接和间接指标。

直接指标包括狭窄处杂色血流信号、收缩期峰值流速 (peak systolic velocity, PSV)、舒张末期流速 (end-diastolic velocity, EDV)。血流流速是动脉管腔狭窄最敏感的指标, 由于狭窄两侧压力梯度的增加, 狭窄处 PSV 随着狭窄程度的增加而升高, 狭窄处 EDV 在轻度狭窄时变化不明显, 在中度狭窄时随着狭窄程度的增加而升高, 但狭窄程度进一步增加时, 由于血流阻力明显增大, PSV 不升反降甚至低于正常范围, 而舒张期内狭窄两侧存在明显的压力梯度, EDV 进一步升高, PSV 与 EDV 存在的差异逐渐减小, 是诊断重度狭窄重要的征象之一^[4]。不同狭窄程度的动脉血流速度评估标准不同, 是诊断血管狭窄的重要指标, 但存在一些不足, 易受其他因素影响, 如动脉存在节段性狭窄或者复合狭窄、强回声斑块影响流速测量、心源性高血流状态或心排量下降导致血流流速升高不显著等复杂情况^[5]。同时, 在临床工作中常遇到一些困难譬如较深的血管如锁骨下动脉开口处 (尤其是左侧)、椎动脉开口处、颈内动脉远段、颅内动脉、髂动脉等, 常因肥胖、骨骼、气体、斑块钙化等原因致透声性差, 运用二维形态学及血流直接指标诊断血管狭窄常不理想, 而超声常可清楚探及狭窄远心端或近心端的血管并容易测量血流频谱, 因此, 测量远心端或近心端血管的间接指标在诊断血管疾病上则有较重要的参考价值。

间接指标包括收缩早期加速时间 (acceleration time, AT)、收缩早期加速度 (acceleration, AC)、阻力指数 (resistant index, RI) 和双侧动脉 RI 差值等。间接指标

可以很好地弥补直接征象的不足。当动脉远心端重度狭窄或闭塞时, 血管内阻力明显增大, 动脉近心端表现为 PSV 和 EDV 减低, 而 RI 升高。当动脉近心端重度狭窄时, 狭窄远心端灌注压减少, 收缩期血流缓慢充盈, 因此频谱形态常会出现“小慢波”, 表现为 AT 延迟, AC 和 RI 减小。加速时间在肾动脉狭窄的应用颇多, 国内学者李建初等^[6]对频谱波形曲线的定量分析研究中, 认为 AT 和 AC 是诊断肾动脉狭窄最为有用的间接指标。然而, 通过血流动力学参数评估动脉近心端或远心端狭窄存在一定假阴性。一方面, 当动脉存在生理性变异, 如生理性管腔纤细或狭窄、走行变异、动脉瘤时, 可导致测量动脉的血流动力学参数改变^[7]。另一方面, 侧支代偿、分支血管和狭窄位置之间的关系均能够对其近心端动脉的血流动力学变化产生影响^[8]。因而, 仅通过血流动力学参数诊断评估动脉近心端或远心端狭窄是不足的。

由于简单易懂, 当前时域分析在动脉频谱波形分析中最为广泛, 血流动力学参数得到国内外学者广泛应用。动脉频谱波形上蕴含丰富的血流动力学信息, 然而当前临床常用的血流参数多限于对频谱波形曲线上 1 个或 2 个点的分析, 如 PSV、EDV、RI 等, 以及这些参数之间的比值比较, 如狭窄处与狭窄远段 PSV 比值等, 提取的频谱波形信息量较少, 不能够完整地反映动脉频谱波形的整体特征。因而, 许多学者尝试使用频域分析方法分析动脉频谱波形包含的全部信息。

2 频域分析

频域分析是分析周期性波形的一种常见方法, 通过将时域上的周期性动脉频谱波形进行快速傅里叶变换, 将波形从时域信息转换到频域信息, 研究动脉频谱振幅、功率、相位等数据在频率上的变化, 提取特征性参数, 有助于发现波形中包含的病理生理学信息。频域特征可以更加反映动脉频谱波形的本质。

频域分析能有效评估动脉频谱波形。快速傅立叶变换 (fast-fourier transform, FFT) 常用于分析移植术后引起的血流波形, Mao 等人^[9]提出基频与其二次谐波的功率比可以分析冠状动脉旁路移植术后血管内的竞争性血流, 可以很好地反映术中移植通畅性。Jia 等人^[10]基于瞬时血流测量波形的 FFT 分析结果, 提出基频振幅和一次谐波振幅的降低、以及一次谐波频率的升高是提示冠状动脉旁路移植术移植失败的独立危险因素。

频域分析也广泛应用于评估动脉狭窄频谱波形。Ergün 等人^[11-12]基于动脉频谱波形的 FFT 分析结果, 使用神经网络进行分类, 发现能够区分正常与狭窄时的颈动脉和大脑中动脉的血流频谱波形。Latifoğlu 等人^[13]发现使用 FFT 建模和人工免疫识别系统分类器能够区分正

常动脉频谱波形和动脉粥样硬化血流波形。国外相关研究报道^[14-15]基于狭窄远段的血流多普勒波形的 FFT 分析结果提出了狭窄指数,定义为高频谐波的功率与基频谐波的功率之比,其在分析移植肾动脉狭窄和移植肝动脉狭窄中的准确性高于阻力指数以及搏动指数。李虹焯等人^[16]使用 FFT 将颅外段颈内动脉整段血流多普勒频谱进行整体分析,发现基频振幅与前 20 阶振幅之和的比值能有效地评估颅内段颈内动脉轻-中度狭窄。

应用现代科技中的工程技术有助于将医学图像中与诊断有关的特征提取出来,使诊断尽量准确化、客观化。频域分析在频谱波形分析中具有独特的优势,在血压、心电图、脉搏波等周期性波形的分析中,频域分析也能更早地提示患者生命体征的变化,可能和频域参数蕴含了时域曲线的所有生理病理学信息有关。然而,如何用频域参数来解释相关生理病理学改变,也是频域分析目前面临的难题。

3 建模分析

建模分析是指利用数值模拟方法对心血管内的流体力学建立相应的数学模型,通过研究血液沿血管循环流动的成因、状态、条件等影响因素,有助于了解血液流动的规律、病理生理意义以及与疾病之间的联系。

一维血流动力学模型是研究血流动力学的强大工具,可以有效模拟血流速度在动脉网络内的传导与反射。Mynard 等^[17]对整个人体心血管系统进行了建模,包含了静脉网络与肺循环,最终构成了一个闭环的系统模型并验证了该模型能够在不同部位模拟出典型的压力与流速波形。Stergiopoulos 等人^[18]发现狭窄可以显著改变血管内流速与压力的波形。Zhang 等人^[19]利用降阶模型模拟出颈动脉的超声频谱波形。由于一维模型具有很多潜在的实际应用价值,但如何对不同动脉的血管壁材料属性等个体化参数进行估计,依然是一个难题。

计算流体力学是分析血管内血流动力学的研究热点之一,其基本原理是求解控制血液流动的微分方程,得出血液流动的流场在连续区域上的离散分布,继而近似模拟血液流动情况,对体内血流动力学参数(包括血流速度、压力、压力梯度)进行无创评估。通过对狭窄区段进行深入的血流动力学的流场分析,可用来确定斑块早期生长的流场特征,以及模拟流体力学对斑块生长的影响,特别在揭示脆弱斑块的潜在破裂性与急性临床病症的关系上有良好的应用^[20]。仿真流体模型的建立对于理解生理学、病理生理学、外科手术治疗、介入治疗及人工器官移植等重大问题均有良好的参考价值,但当前仿真流体模型的建立非常依靠计算机硬件水平,且运算时间长,不能适用于复杂的临床诊断工作。

基于数学的循环建模可能是描绘血液动力学的更全面工具。然而,绝大多数的个体化建模研究只针对单个的个体,这些方法在面对具有差异性的群体时,它们的有效性与效率仍有待考证。

4 总结与展望

超声作为一种可靠、无创、安全、可重复的检查方法,为临床诊断动脉狭窄闭塞性病变提供了有价值的客观指标,特别是血流动力学方面的信息,是其他影像学方法无可比拟的。目前血流频谱波形的时域分析研究比较成熟,血流动力学参数广泛应用于评估动脉狭窄。但血流动力学参数只提取了动脉频谱波形上的一部分特征参数,更多的血流动力学信息未被充分利用,而时域分析能够对动脉频谱波形的全部信息进行整体分析,在临床应用方面具有巨大的潜在价值,有待学者们进一步发掘和探索。

〔参考文献〕

- (1) 华扬,惠晶晶,邢瑛琦.中国脑卒中血管超声检查指导规范(J).中华医学超声杂志(电子版),2015,12(8):599-610.
- (2) 杨靖雯,惠晶晶,丁亚芳,等.颈动脉多普勒超声评估颈内动脉颅内段重度狭窄性疾病的应用价值(J).中华医学超声杂志(电子版),2021,18(6):597-604.
- (3) 熊华花,彭佩燕,李泉水,等.椎间隙段椎动脉频谱形态异常对于血管病变的诊断价值(J).中国超声医学杂志,2016,32(6):493-496.
- (4) 兹韦尔,著.温朝阳,译.血管超声经典教程(精)(M).6版.北京:人民军医出版社,2015.
- (5) 文晓蓉,邢英琦,刘勇,等.腹部及四肢动脉超声若干常见临床问题专家共识(J).中国超声医学杂志,2020,36(12):1057-1066.
- (6) 李建初,姜玉新,秦卫,等.Tardus-Parvus 波形在肾动脉狭窄诊断中的应用研究(J).中华超声影像学杂志,2006,15(9):677-680.
- (7) 彭佩燕,熊华花,邓水平,等.单侧椎动脉先天性发育不良超声检测参数与眩晕关系的分析(J).中国超声医学杂志,2016,32(12):1066-1068.
- (8) 周瑛华,华扬,贾凌云,等.椎动脉闭塞类型及其代偿性血流动力学变化对后循环缺血的影响(J).中国脑血管病杂志,2017,14(8):424-428.
- (9) Mao B, Wang W, Zhao Z, et al. On the relationship between competitive flow and FFT analysis of the flow waves in the left internal mammary artery graft in the process of CABG (J). Biomed Eng Online, 2016, 15(S2): 557-567.
- (10) Jia Y, Xu H, Su P, et al. Predictive value of graft patency and major adverse cardiac and cerebrovascular events(MACCEs)in coronary artery bypass grafting(CABG) based on Fourier transform(FFT) (J). J Thorac Dis, 2021, 13(5): 2705-2715.

- (11) Ergün U, Serhatlıoğlu S, HardalaçF, et al. Classification of carotid artery stenosis of patients with diabetes by neural network and logistic regression (J) . Comput Biol Med, 2004, 34(5): 389-405.
- (12) Ergün U, BarýpçýN, Ozan AT, et al. Classification of MCA stenosis in diabetes by MLP and RBF neural network (J) . J Med Syst, 2004, 28(5): 475-487.
- (13) Latifođlu F, Polat K, Kara S, et al. Medical diagnosis of atherosclerosis from Carotid Artery Doppler Signals using principal component analysis(PCA), k-NN based weighting pre-processing and Artificial Immune Recognition System(AIRS) (J) . J Biomed Inform, 2008, 41(1): 15-23.
- (14) Chan S, Mcneeley MF, Le TX, et al. The sonographic stenosis index: computer simulation of a novel method for detecting and quantifying arterial narrowing (J) . Ultrasound Q, 2013, 29(3): 155-160.
- (15) Le TX, Hippe DS, Mcneeley MF, et al. The Sonographic Stenosis Index: A New Specific Quantitative Measure of Transplant Hepatic Arterial Stenosis (J) . J Ultrasound Med, 2017, 36(4): 809-819.
- (16) 李虹焯, 熊华花, 张湘栋, 等. 基于颈内动脉颅外段多普勒频谱快速傅里叶变换分析检测轻-中度颅内段狭窄的研究 (J) . 中国超声医学杂志, 2021, 37(5): 481-484.
- (17) Mynard JP, Smolich JJ. One-Dimensional Haemodynamic Modeling and Wave Dynamics in the Entire Adult Circulation (J) . Ann Biomed Eng, 2015, 43(6): 1443-1460.
- (18) Stergiopoulos N, Young DF, Rogge TR. Computer simulation of arterial flow with applications to arterial and aortic stenoses (J) . J Biomech, 1992, 25(12): 1477-1488.
- (19) Zhang X, Wu D, Miao F, et al. Personalized Hemodynamic Modeling of the Human Cardiovascular System: A Reduced-Order Computing Model (J) . IEEE Trans Biomed Eng, 2020, 67(10): 2754-2764.
- (20) Cebra JR, Yim PJ, Löhner R, et al. Blood Flow Modeling in Carotid Arteries with Computational Fluid Dynamics and MR Imaging (J) . Acad Radiol, 2002, 9(11): 1286-1299.

[文章编号] 1007-0893(2022)04-0120-04

DOI: 10.16458/j.cnki.1007-0893.2022.04.038

国内医联体模式下脑卒中患者延续护理作用的研究进展

齐楚怡^{1,2} 谭薇^{2*} 谢小华² 刘薇²

(1. 广西中医药大学, 广西 南宁 530000; 2. 深圳市第二人民医院, 广东 深圳 518035)

[摘要] 近年来我国脑卒中的发病率不断上升, 虽然医疗水平的上升使患者的预后不断改善, 但患者出院后若缺乏规范的管理, 其康复状况也不容乐观。医联体模式是对不同层级的医疗机构资源进行联合和资源共享, 医联体模式下的延续性护理完善出院前到出院后的康复护理服务, 改善患者的预后, 提高其生活质量。本研究就国内医联体模式下的延续性护理对脑卒中患者康复的作用进行综述。

[关键词] 脑卒中; 医联体; 延续性护理

[中图分类号] R 473.5; R 743 [文献标识码] A

Research Progress on Continuing Nursing Effect of Stroke Patients under the Domestic Medical Alliance Model

QI Chu-yi^{1,2}, TAN Wei^{2*}, XIE Xiao-hua², LIU Wei²

(1. Guangxi University of Chinese Medicine, Guangxi Nanning 530000; 2. The Second People's Hospital of Shenzhen, Guangdong Shenzhen 518035)

[Abstract] In recent years, the incidence of stroke in China has been rising. Although the improvement of medical level has

[收稿日期] 2021 - 12 - 03

[基金项目] 深圳市科创委自由探索项目 (JCYJ20180228163026995)

[作者简介] 齐楚怡, 女, 在读硕士研究生, 主要研究方向为社区脑卒中护理。

[*通信作者] 谭薇 (E-mail: 837730261@qq.com; Tel: 13699802062)