

瞬时波强度技术在心脏疾病中的研究进展

朱 虹 田新桥

心脏泵功能依赖其与脉管系统的相互作用。以前评价心功能往往单独评估心脏或脉管系统的压力变化。Parker 等首先提出波强度 (wave intensity, WI) 这一概念,国内肖沪生等^[1]将其命名为瞬时波强度。WI 是研究心血管系统血流动力学及心脏与血管相互关系的新技术,通过检测循环系统中动脉内任意点的瞬时管径变化和瞬时平均血流流速变化来评估心血管系统的总体功能。Niki 等^[2]结合彩色多普勒和血管回声跟踪 (echo-tracking, ET) 系统发展了实时非侵入性的波强测量系统,这种方法无创、便捷,能同步测量血压和血流速度。国内外已有一些学者开展了相关研究,初步结果表明该技术具有重要的临床应用价值。本文着重介绍 WI 的原理及其在心脏疾病中的研究进展。

一、WI 的定义及原理

波强度最初被定义为 ΔP 和 ΔU 的乘积,这里的 ΔP 、 ΔU 是血压 P 和流速 U 各在一个恒定的短时间的变化,用来表示单位时间内通过垂直于波传播方向的单位横截面积上的能流 (W/m^2)。为了不受取样时间的影响,Niki 等引进了时间标准化的波强度, $WI = (\Delta P / \Delta t) (\Delta U / \Delta t)$, 当 Δt 无限小时, $WI = (dP/dt) (dU/dt)$, 这里的 dP/dt 和 dU/dt 是 P 和 U 关于时间的导数。如果 $WI > 0$, 那么引起压力和速度变化的前向波 $>$ 后向波,反之亦然。流体力学中,引起正压力阶差的波称为压缩波,引起负压力阶差的波称为膨胀波。前向波离心性传播 (从心脏到外周血管), 由前向波反射引起的反向波向心性传播 (从外周血管到心脏)。动脉血流中存在 4 种组合波:前向压缩波、前向膨胀波、反向压缩波、反向膨胀波。膨胀波有“牵引”效应,前向膨胀波使压力减低,血流速度下降;反向膨胀波使压力减低,血流速度升高。压缩波具有“推挤”效应,前向压缩波使压力升高,血流速度增快;反向压缩波使压力升高,血流速度下降。

二、WI 的测量方法及各参数的临床意义

1. WI 的测量方法:以前用于测量 WI 的方法是有创的,如用含多元传感器的漂浮导管测量升主动脉波强度;或者测量的操作方法较繁琐,如用平面波张力测定法和脉冲多普勒测量颈动脉、肱动脉和桡动脉波强度^[3]。

超声仪器生产商 ALOKA 公司在 ET 技术的基础上,成功地研制出无创、便捷的超声 WI 测量分析系统,它包含测量血流速度的彩色多普勒系统和测量管径变化的血管回声跟踪技术系统。血管回声跟踪系统自动测量动脉管径变化,精度达 $1/16$ 超声波长;彩色多普勒系统测量血流平均速度;再用血压数据进行校正。研究证明动脉压力变化跟管径改变呈线性相关。因此可以用管径的变化来代替血压的改变。用肱动脉的收缩压和舒张压来校正管径变化曲线的最大值和最小值。WI 指标由系统自动计算得出,主要参数包括强度指数 $W1$ 、 $W2$ 、 NA 和时间指数 $R - W1$ 、 $W1 - W2$,有时会测到射血中期的正向峰 X 波^[2]。这种方法能区分前向和后向波,有助于量化局部动脉管腔压力和流速以及动脉僵硬测量。

2. WI 参数的临床意义:(1) $W1$ 和 $W2$: $W1$ 是 WI 波形中出现在左心室射血早期的第 1 个正向波峰,表示左心室收缩早期产生的前向压缩波,导致动脉管腔内压力升高,血流流速增快。 $W2$ 是 WI 波形中出现在左心室射血晚期的第 2 个正向波峰,代表收缩晚期的前向膨胀波,使动脉管腔内压力减低,血流速度减慢。 $W1$ 幅度与左心室收缩期最大压力上升速率显著相关。 $W2$ 幅度与左心室最大压力下降速率及左心室心肌松弛时间常数 (τ) 显著相关。 $W1$ 能反映左心室收缩功能, $W1$ 峰值越大,反映左心室收缩功能越强。 $W2$ 的生理学和病理学意义相当复杂。在 $W2$ 期间,左心室产生前向抽吸波主动停止主动脉血流。抽吸波的产生是左心室压力迅速下降引起的。Sugawara 等提出血流从左心室流向大动脉的惯性力这个概念。惯性力减弱至停止,引起压力迅速减少并在左心室接近收缩晚期时产生抽吸波。惯性力的增加或

基金项目:浙江省中医药科研基金资助项目 (2010ZB096)

作者单位:325000 温州医学院附属第二医院超声科

通讯作者:田新桥,电子信箱:tianxq2005@163.com

减少与心功能的改善和恶化相一致。左心室抽吸波的产生是心肌承受张力能力逐渐衰退和主动脉血流的惯性力的结果。心功能越好越能有效利用惯性力。左心室主动停止射血的机制:在射血晚期,左心室内朝向心尖部的血流扮演很重要的角色,把血流从主动脉抽吸到左心室腔内,关闭主动脉瓣。血流流出心室的惯性引起收缩晚期左心室迅速流空,减少左心室收缩晚期容积和增加弹性回缩力。因此主动脉血流的惯性力产生一个较大的膨胀波(W2)。等容舒张期左心室内出现朝向心尖部血流的大部分患者均具有惯性力和相对小的左心室松弛时间常数(τ)。有惯性力的患者 W2 明显高于无惯性力的患者。因此,膨胀波 W2 的幅度与心脏收缩晚期及等容舒张期的心功能有密切关系。(2)NA:外周血管阻力和外周血管反向折返波引起 W1 负向波 NA 的形成。当血流流速达到峰值,血流加速度为零时,为收缩中期的开始,血液因惯性继续前向流动,外周阻力使血液流速逐渐降低,dU/dt 为负值,即减速度,但此时管壁压力还在增高,dP/dt 即压力上升速率为正值^[4]。根据计算公式 $W1 = (dP/dt)(dU/dt)$ 推导,两者相乘为负值,形成收缩中期的 W1 负向波。负向波的面积与外周阻力密切相关,与血管顺应性成反比。在颈动脉 NA 是脑循环反射的特征。(3)X 波:X 波不常见,Niki 等发现使用硝酸甘油(NTG)后,产生收缩中期正向波 X。由于心肌缩短保持与血流运动匹配,使用 NTG 后,在射血初期产生的血流冲力对于心室壁的运动变化太大(使用硝酸甘油后血流最大流速增加),室壁运动和血流运动不匹配产生膨胀波与产生 W2 方式一样。不匹配产生 W2 是因为心肌主动停止缩短刚好在等容舒张开始前(心肌缩短放慢和停止)。不匹配产生 X-波是因为心肌持续缩短,但是收缩初期血流冲力增加太多,这引起心脏收缩的心室流空,在收缩中期产生抽吸波。(4)R-W1,W1-W2:R-W1 是心电图 R 波到 W1 波峰的间距,相当于射血前期;W1-W2 是两个波峰的间距,相当于射血期。国内肖沪生等报道,射血前期应该是指心电图 R 波顶点到 W1 起点的时间。他们认为文献报道的“R-W1 约等于射血前期”实际上包含了 3 个时间段,分别为左心室等容收缩期时间、压力波传导时间和 W1 起点一顶点时间^[5]。并认为 W1 曲线的起点应为射血期的开始^[6]。

三、W1 在心脏疾病中的应用研究

1. 冠心病:Rolandi 等^[7]对稳定型心绞痛患者进行研究,检测患者做 Valsalva 动作过程中主动脉内

压、左心室压力、冠脉内压及血流速度,计算冠状动脉波强度并分析其与左心室血流动力学参数的关系。结果证实,冠状动脉波强度在负荷状态时显著减少,且与左心室功能减低相关。表明波强度分析可以清楚地揭示心脏-冠状动脉之间相互作用的内在特征。陈伟等^[8]研究发现冠心病组颈动脉 W1 指标 W1、W2 均较正常对照组显著降低。冠心病单支病变组及多支病变组颈动脉的 W1、W2 值均较对照组减低且多支病变组的 W1、W2 均较单支病变组显著减低;NA 值均无显著性差异;IMT ≥ 1.0 mm 组 W1、W2 较无形态学变化且 IMT < 1.0 mm 组显著减小。而无形态学变化且 IMT < 1.0 mm 组 W1、W2 均较正常对照组显著减低。采用无创、实时的彩色多普勒超声检查并结合 W1 技术,能同时发现动脉结构和血流动力学的改变,从而早期推测出冠状动脉硬化的发生。

2. 心肌病:肥厚型心肌病(HCM)心脏舒张功能受损。有研究发现,HCM 组与正常组颈动脉 W1 的 W1 值差异无显著性,但 W1 随着年龄的增加明显减少,说明心脏收缩力随着年龄增加而恶化;W2 在两组均与年龄无关;HCM 组 W2 值比正常组明显减小^[9]。姜双全等^[10]发现 HCM 患者颈动脉 W1 曲线 W1 比正常对照组增加,W2 减低,差异有统计学意义,说明 HCM 患者心肌主动松弛功能及顺应性均受损。扩张型心肌病(DCM)心脏收缩功能受损。Sugawara 等^[9]发现 DCM 组 W1 值远低于正常组;W2 值两组无明显差异。正常对照组 W1 年龄差别不显著。DCM 组 W1 随着年龄的增加而减少,说明随着年龄增加心脏收缩功能恶化。

3. 慢性心力衰竭(CHF):CHF 患者左心室收缩早期产生的能使血流加速的前向压缩波(s 波)能量显著减少,达峰时间延长;相反,外周反射波明显增加,反射时间不变。心脏舒张期产生的膨胀波的能量不受心力衰竭影响;正常人和心力衰竭患者颈动脉脉搏波传导速度和增大指数差异不显著;心力衰竭患者左心室产生的前向压缩波明显减少,外周反射波的增加维持了收缩压,但是也给心力衰竭患者心功能增加了额外的负荷^[11]。马斌等^[12]发现,CHF 患者 W1 显著减小,W1-W2 间期缩短,R-W1 间期显著延长;在 CHF 各组间,随着心功能恶化 W1 也逐渐降低;CHF 组 W1 与左心室射血分数(LVEF)和二尖瓣环收缩期最大运动速度(Sm)分别呈正相关。

4. 二尖瓣反流:二尖瓣关闭不全的患者术前和术后波强度指数 W1、R-W1 和 W1-W2 没有明显改

变,术前 W2 消失或很小,术后清楚显示。在二尖瓣关闭不全患者,左心室持续向左房射血,甚至在主动脉瓣关闭以后,也即心肌在接近射血晚期时仍不能停止缩短。因此,左心室主动停止主动脉内血流的能力消失,W2 消失或减少;W2 在术后恢复,提示左心室恢复了产生抽吸波的能力。

5. 舌下含服 NTG 的影响:舌下含服 NTG 后,颈动脉波强度 W1 和收缩中期正向波 X 增加,表明心脏收缩力增加。大部分人使用 NTG 之前 X - 波不出现或不明显,服用硝酸甘油后有 63% 的人出现 X 波,此期间压力和血流速度减少,表明其为一抽吸波。波强度分析证实 NTG 可增加 W1 和收缩中期抽吸波 X,表明其在射血早期加强了心脏收缩,中期可加速左心室流空^[2]。

6. 其他:甲状腺功能亢进患者 W1、W2、NA、R - 1st、W1 - W2 明显增高,LVEF、LVFS 无统计学意义。几个异常波出现在甲状腺功能亢进患者的收缩中期。FT3 与 W1、W2、NA、R - 1st、W1 - W2、生理血压、心率有关。WI 技术被证明是评价甲状腺功能亢进患者心脏功能和血流动力学改变的实时、无创、敏感且方便的方法^[13]。一项对接受治疗的高血压患者的研究发现,较高的波反射是未来发生心血管事件的独立预测因子,不受常见的风险因素支配^[14]。此外,还有一些学者将 WI 用于研究:妊娠期妇女左心室及颈动脉适应性变化;慢性肾衰患者心血管功能;室间隔缺损封堵前后左心室功能;心脏再同步化治疗术后短期疗效评价等。

四、WI 技术的局限性

WI 通常在颈动脉测量,颈动脉和主动脉流速变化曲线是不同的,因此,波强度曲线可能不是完全相同的。不过,正常人颈动脉 WI 曲线与正常人主动脉的相似,最近有人用侵袭性方法研究动物证明了这点。用血压计测量肱动脉收缩压、舒张压估算颈动脉收缩压和舒张压,这种方法只适合老年研究组。在年轻人中,主动脉峰值压和上臂峰值压的差别是相当大的。因此,在年轻组,必须用 K 值校准。Van Bortel 等定义 K 系数为 $K = (\text{平均压} - \text{舒张压}) / (\text{收缩压} - \text{舒张压})$,这里的平均压是一个心动周期的平均压力。当用血压测量法时,需注意收缩压和舒张压的随机变异常常超过 20mmHg。

五、展望

心功能的评估应结合动脉系统状态,动脉系统状态一贯影响心脏工作状态。WI,它从压力和血流速

度推算出来,提供了定量的和心脏动脉系统相互作用的详细信息。WI 能在临床用一种血管回声 - 多普勒系统(echo - Doppler system)无创获得。这种方法将会增加波强度的临床应用。

参考文献

- 1 肖沪生,徐智章,张爱宏,等. Wave Intensity 的命名探讨[J]. 上海医学影像,2008,17(2):81 - 82
- 2 Niki K, Sugawara M, Chang D, *et al.* A new noninvasive measurement system for wave intensity: evaluation of carotid arterial wave intensity and reproducibility[J]. Heart Vessels, 2002, Nov;17(1):12 - 21
- 3 Zambanini A, Cunningham SL, Parker KH, *et al.* Wave - energy patterns in carotid, brachial, and radial arteries: a noninvasive approach using waveintensity analysis[J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 2005,289(1):H270 - H276
- 4 Ohte N, Narita H, Sugawara M, *et al.* Clinical usefulness of carotid arterial wave intensity in assessing left ventricular systolic and early diastolic performance[J]. Heart Vessels,2003,18(3):107 - 111
- 5 肖沪生,银浩强,徐智章,等. 瞬时波强技术中 R—W1 时相分析[J]. 中华超声影像学杂志,2009,18(1):34 - 36
- 6 肖沪生,徐智章,张爱宏,等. 瞬时加速度波强(WI)的时相分析[J]. 上海医学影像杂志,2008,17(2):83 - 85
- 7 Rolandi M, Rimmelink M, Nolte F, *et al.* Effect of the Valsalva maneuver on cardiac - coronary interaction assessed by wave intensity analysis[J]. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc,2010,2010:3776 - 3779
- 8 陈伟,韩若凌,马景涛,等. 瞬时波强技术应用于冠心病病情评估的研究[J]. 中国超声医学,2011,27(4):324 - 327
- 9 Sugawara M, Niki K,Ohte N, *et al.* Clinical usefulness of wave intensity analysis[J]. Med Biol Eng Comput,2009, 47(2):197 - 206
- 10 姜双全,田家玮,杜国庆,等. 组织速度成像结合瞬时波强对肥厚型心肌病患者左心室舒张功能的综合评价[J]. 中国超声医学杂志,2010,26(7):619 - 622
- 11 Curtis SL, Zambanini A, Mayet J, *et al.* Reduced systolic wave generation and increased peripheral wave reflection in chronic heart failure[J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol,2007,293(1):557 - 562
- 12 马斌,张军,李军,等. 瞬时波强技术评价慢性心力衰竭患者左心室收缩功能的临床研究[J]. 中华超声影像学杂志,2009,18(10):836 - 839
- 13 Yanrong Z, Manwei L, Meiling W, *et al.* Wave intensity analysis of carotid artery: a noninvasive techniquefor assessing hemodynamic changes of hyperthyroid patients[J]. J Huazhong Univ Sci Technol Med Sci,2010,30(5):672 - 677
- 14 Manisty C,Mayet J,Tapp RJ, *et al.* Wave reflection predicts cardiovascular events in hypertensive individuals independent of blood pressure and other cardiovascular risk factors[J]. J Am Coll Cardiol,2010, 56(1):24 - 30

(收稿日期:2011 - 10 - 14)

(修回日期:2011 - 10 - 17)