

极速成像技术与脉象仪联合应用检测 冠心病患者动脉弹性的研究*

许轶君, 高东雯**, 肖沪生, 徐 芳, 王美文

(上海中医药大学附属龙华医院 上海 200032)

摘 要:目的 评估联合应用极速成像技术与脉象仪检测冠心病患者动脉弹性的价值。方法 联合应用超声极速成像技术与脉象仪对44例冠心病患者及40例健康人(对照组)分别行颈动脉脉搏波传导速度(PWV, pulse wave velocity)及桡动脉脉象参数的检测。检测颈动脉脉搏波传导速度使用的是法国Supersonic Aixplorer彩超仪所配备的极速成像技术,包括两个参数:即收缩期起始时的PWV-BS(BS, beginning of the systole)及收缩期结束时的PWV-ES(ES, ending of the systole);检测桡动脉脉象参数使用的是DDMX-100脉象仪,包括诸多参数,如 h_1 、 h_3/h_1 、 h_4/h_1 、 h_5/h_1 、 h_3 、 h_4 、 h_5 、 t 、 w_1 、 w_1/t 、 w_2 、 w_2/t 等;冠心病组及对照组数据采用SPSS 18.0统计软件进行组间数据分析对比,同一观察对象的两种技术参数的相关性分析采用Spearman非参数法进行。结果 冠心病组的PWV-BS、PWV-ES均高于对照组($P < 0.05$)。冠心病组 h_3 、 h_4 、 h_3/h_1 、 h_4/h_1 均高于对照组($P < 0.05$)。冠心病组PWV-BS、PWV-ES与 h_3 、 h_3/h_1 、 h_4/h_1 呈正相关($P < 0.05$),对照组PWV-BS、PWV-ES与 h_3/h_1 、 h_4/h_1 呈正相关($P < 0.05$)。结论 联合应用极速成像技术与脉象仪能够客观评估冠心病患者的动脉弹性功能,为临床综合评估冠心病患者动脉弹性提供新方法。冠心病患者诸多脉象参数与极速成像技术参数PWV-BS、PWV-ES间呈现出了很好的相关性,进而拓展和完善了脉象客观化领域的研究。

关键词:极速成像技术 冠心病 脉搏波传导速度 脉象参数

doi:10.11842/wst.2019.07.025 中图分类号:R2-031 文献标识码:A

冠状动脉粥样硬化性心脏病是冠状动脉血管发生动脉粥样硬化病变而引起血管腔狭窄或阻塞,造成心肌缺血、缺氧或坏死而导致的心脏病,俗称为“冠心病”^[1]。冠心病具有发病率高、死亡率高的特点。众所周知,动脉粥样硬化是一种可累及全身血管的泛发性疾病^[2,3],因此,对外周血管的血管壁病变早期发现、早期治疗是预防或推迟冠心病发生的关键措施^[4]。既往众多研究结果已证实,脉搏波传导速度(pulse wave velocity, PWV)是体现动脉硬化程度的一种可靠参数,

是评估个体发生心血管事件危险程度的有效指标^[5]。此实验使用超声极速成像技术检测PWV,并联合应用脉象仪,旨在探讨极速成像技术与脉象仪联合应用评估冠心病患者动脉弹性功能的价值,并对二者的相关性进行研究。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究经医院医学伦理委员会同意,病例的收集未经性别、年龄筛选。纳入标准:2017年1月5日-5月26日期间于上海中医药大学附属龙华医院就诊,并符

收稿日期:2019-06-15

修回日期:2019-07-12

* 上海市卫生计生委人才类项目(沪卫计中发[2018]23号)(ZY(2018-2020)-RCPY-2003);上海市进一步加快中医药事业发展三年行动计划(2018-2020)高级中西医结合人才计划,负责人:高东雯;上海中医药大学预算内科研项目(2015YSN35):基于超声极速成像技术评价原发性高血压患者动脉弹性的可行性研究,负责人:高东雯。

** 通讯作者:高东雯,副主任医师,硕士生导师,主要研究方向:心血管及浅表器官病变。

合世界卫生组织(World Health Organization, WHO)制定的冠心病诊断标准的冠心病患者例,即有典型的心绞痛病史及心电图的改变,冠状动脉造影均显示至少1支冠状动脉管腔内径狭窄 $>50\%$ 。排除标准:①患有冠状动脉造影术禁忌症者;②合并患有血液系统疾病、自身免疫性疾病、精神疾病、恶性肿瘤等其他器官和系统严重疾病的患者;③妊娠期、哺乳期妇女;④患者或其家属不同意参加检查、不能签署知情同意书者。经过数据收集与清洗,共纳入病例44例,其中男性25例,女性19例;年龄范围为45–65岁,平均年龄为 54.74 ± 5.17 岁。本研究的对照组来源于同期进行健康体检者40例,即经询问病史、体格检查、所有临床相关生化检查、心电图和超声心动图等影像学检查均未见异常者。其中,男性22例,女性18例;年龄范围为43–62岁,平均年龄为 52.23 ± 5.37 岁。

1.2 研究方法

1.2.1 获取颈动脉脉搏波传导速度

(1)仪器

法国声科 Supersonic Aixplorer 彩超仪,内部自配极速成像技术(UltraFast),选择探头 SLI0-2,频率为6–9 MHz。

(2)操作方法

观察对象平卧,暴露颈部,选择 SLI0-2 探头,选取预设“Vascular”/“Carotid”模块,“B型”模式。将超声探头置于颈动脉处,纵切并选取显示颈总动脉最大前后径的切面,清楚显示颈动脉前、后壁,尤其是前壁外膜,注意避开颈动脉膨大处。按“PWV”按键,出现“Acquiring”字样,说明仪器采样中,耗时约两秒。在这期间观察对象与操作医生所持探头均保持不动,随后出现“Processing”字符,提示仪器已在“图像处理”。待屏幕出现黄色矩形采样框,移动采样框直至沿颈动脉前、后壁走形的两条红色描记曲线处于最满意状态,按“Select”按键,获得参数即颈动脉脉搏波传导速度。

(3)获取参数

收缩期起始时的脉搏波传导速度(PWV-BS)、收缩期结束时的脉搏波传导速度(PWV-ES)。此两项参数由机器内置软件系统自动运算得出。

1.2.2 获取桡动脉脉图参数

(1)仪器

DDMX--100脉象仪。

(2)操作方法

观察对象平卧,然后将脉象仪传感器放于其左侧

表1 冠心病组与对照组基线资料比较

组别	N	年龄/岁	性别/(男/女,例)	身高/cm	体重/kg
对照组	40	52.23 ± 5.37	22/18	165.31 ± 6.24	64.22 ± 9.30
冠心病组	44	54.74 ± 5.17	25/19	166.14 ± 6.07	66.47 ± 9.28

桡动脉搏动最明显处,即桡骨茎突内侧,也就是中医脉诊所指的寸口脉关部。束好绑带,并调节换能器的取脉压力螺旋钮依次至50 g、100 g、125 g、150 g、175 g、225 g这6个压力段,并将在这6个压力段下所获取的脉图分别予以记录。脉象仪关联的计算机会对所得脉图自动进行数据分析,判定并提示操作者某个压力段下所得脉图为最佳脉图。操作者再根据提示调节换能器的取脉压力螺旋钮至最佳压力段,然后较长时间连续记录所得脉图。关联计算机将自动分析得到脉图参数。

(3)获取参数

h_1 :主波幅度; h_3 :重搏前波幅度; h_3/h_1 :重搏前波幅度与主波幅度之比; h_4 :降中峡幅度; h_4/h_1 :降中峡幅度与主波幅度之比; h_5 :重搏波幅度; h_5/h_1 :重搏波幅度与主波幅度之比; t :脉动周期,对应于左心室的一个心动周期; w_1 :主波上1/3处的宽度; w_1/t :主波上1/3处的宽度与脉动周期的比值; w_2 :主波上1/5处的宽度; w_2/t :主波上1/5处的宽度与脉动周期的比值。

1.3 统计学方法

数据采用SPSS 18.0统计学软件进行统计处理。计量资料采用 $\pm s$ 表示,组间比较采用两个独立样本 t 检验;相关性分析采用Spearman非参数法。所有检验均为双侧检验,检验水准为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 冠心病组与对照组基线资料比较

本研究共纳入研究对象84例,其中冠心病患者44例,健康志愿者40例。两组在年龄、性别构成、身高、体重等方面的资料无统计学差异($P > 0.05$),具有可比性(表1)。

2.2 冠心病组与对照组PWV-BS、PWV-ES参数比较

收缩期起始时的脉搏波传导速度(PWV-BS)与收缩期结束时的脉搏波传导速度(PWV-ES)均与动脉硬化程度密切相关。动脉硬化程度越高,二者数值越大。研究结果显示冠心病组的PWV-BS、PWV-ES均显著高于对照组($P < 0.01$)(表2)。

表2 冠心病组与对照组PWV-BS、PWV-ES比较($\bar{x} \pm s$, m/s)

组别	N	PWV-BS	PWV-ES
对照组	40	5.28±1.25	7.24±2.11
冠心病组	44	6.69±1.17**	8.54±2.48**

注:与对照组比较,** $P < 0.01$ 表3 冠心病组与对照组脉象参数比较(1)($\bar{x} \pm s$)

组别	N	h_1 /mm	h_3 /mm	h_4 /mm	h_5 /mm	h_3/h_1	h_4/h_1	h_5/h_1
对照组	40	14.35±	10.51±	6.38±	0.21±	0.62±	0.41±	0.01±
		4.36	3.64	2.15	0.51	0.09	0.08	0.04
冠心病组	44	16.10±	12.45±	8.01±	0.15±	0.71±	0.44±	0.01±
		5.02	3.25*	3.07*	0.44	0.12*	0.07*	0.02

注:*与对照组比较, $P < 0.05$ 表4 冠心病组与对照组脉象参数比较(2)($\bar{x} \pm s$)

组别	N	t/s	w_1 /s	w_2 /s	w_1/t	w_2/t
对照组	40	0.88±0.24	0.20±0.04	0.15±0.03	0.22±0.03	0.17±0.03
冠心病组	44	0.86±0.11	0.22±0.05	0.17±0.05	0.24±0.06	0.19±0.04

注:*与对照组比较, $P < 0.05$ 表5 PWV-BS、PWV-ES与脉象参数 h_3/h_1 、 h_4/h_1 、 h_5 的相关性分析(相关系数 r 值)

组别	N	PWV-BS VSh ₃ /h ₁	PWV-ES VSh ₃ /h ₁	PWV-BS VSh ₄ /h ₁	PWV-ES VSh ₄ /h ₁	PWV-BS VSh ₃	PWV-ES VSh ₃
对照组	40	0.425*	0.431*	0.417*	0.429*	0.327	0.336
冠心病组	44	0.479*	0.498*	0.455*	0.467*	0.368*	0.392*

注:*与对照组比较, $P < 0.05$

2.3 冠心病组与对照组脉象参数比较

脉象参数中,主波幅度 h_1 主要反映左心室的射血能力和大动脉的顺应性,重搏前波幅度 h_3 主要体现外周血管弹性及阻力情况;重搏前波幅度与主波幅度之比 h_3/h_1 主要体现外周血管顺应性及阻力情况;降中峡幅度 h_4 及其与主波幅度之比 h_4/h_1 主要体现血管外周阻力。重搏波幅度 h_5 主要反映大动脉弹性,顺应性。重搏波幅度与主波幅度之比 h_5/h_1 主要反映主动脉顺应性和主动脉瓣功能情况。 t 指脉图起始点到终止点的时值,对应于左心室的一个心动周期。 w_1 、 w_2 相当于动脉内压力高水平状态所维持的时间,主要反映血管弹性。 w_1/t 、 w_2/t 与 h_3 出现的时间和外周阻力相关。研究结果显示冠心病组的 h_3 、 h_4 、 h_3/h_1 、 h_4/h_1 较对照组增高($P < 0.05$),差异有统计学意义(表3、表4)。

2.4 两种技术参数的相关性分析

结果表明,对照组PWV-BS、PWV-ES与 h_3/h_1 、 h_4/h_1

呈正相关($P < 0.05$),冠心病组PWV-BS、PWV-ES与 h_3 、 h_3/h_1 、 h_4/h_1 呈正相关($P < 0.05$)。说明两种技术参数在两组内均呈现出良好的相关性(表5)。

3 讨论

冠心病严重威胁人类健康,故对于冠心病的早期诊断、早期治疗至关重要。冠状动脉造影被公认为诊断冠心病的金标准,但此技术有创,多用于出现明显动脉粥样硬化症状的患者。众所周知,动脉粥样硬化是一种累及全身多血管床的慢性系统性疾病,它们具有相同的发病原因、病理基础等。颈动脉粥样硬化是动脉粥样硬化的表现之一,而且颈动脉位置表浅,易被浅表超声所检测,可作为探测动脉粥样硬化的窗口^[6],能在早期有效反映冠心病患者的外周血管弹性,有利于对冠心病患者的动脉弹性功能及心血管不良事件的发生进行评估,有利于预防或延缓冠心病的发生、发展。超声极速成像技术是新近研发的测量PWV(pulse wave velocity, PWV)的方法,能在早期有效评估动脉硬化的程度^[7]。脉象仪能有效反映人体心、血管方面的多项功能^[8],包括血管弹性的改变。这两种技术均具有操作简便,无创,适应性广的特点,更易于临床推广和应用。此实验联合应用超声极速成像技术及脉象仪,探讨二者在冠心病患者血管弹性功能评估方面的价值及二者的相关性。

PWV的测量技术有很多,在超声范畴内有最原始的平面张力法、血管回声跟踪(eTRACKING)技术测量法、动脉僵硬度定量检测(Quality Arterial Stiffness, QAS)技术测量法等,但这些测量方法或操作繁琐,或受推导公式内血压、心率值的影响,易产生误差和偏差。极速成像技术是测量脉搏波传导速度的新方法,其原理为发射平面声波进入介质,并利用高达20000Hz的极速图像捕获能力及利用平行通道运算的极速计算能力处理所有接收到的数据,精准分析血管壁的细微运动速度和运动方向,分别用兰色、红色体现动脉壁的运动方向(运动方向背离探头的显示为兰色、运动方向朝向探头的显示为红色),最终形成兰、红两种颜色的二维图像^[9,10]。通过快速记录颈动脉前壁运动细节,计算出拥有相同速度的两个点之间的时移,并根据 $C = \Delta x / \Delta t$ 公式,直接测得收缩期起始时的脉搏波传导速度(PWV-BS)、收缩期结束时的脉搏波传导速度(PWV-ES)。测量结果与动脉硬化程度密切相关,

因此外周血管的弹性会直接影响到参数结果。研究发现,冠心病组颈动脉极速成像技术参数即PWV-BS、PWV-ES均较对照组增高。体现出冠心病患者的动脉弹性降低,动脉硬化。说明UltraFast™极速成像技术能很好地反映冠心病患者动脉弹性功能的下降。

脉象仪能客观反映脉象的信息。既往大量研究已证实,脉图参数能有效反映人体心、血管方面的多项功能,其中诸多参数如 h_3 、 h_4 、 h_5 以及它们与 h_1 的比值参数、 w_1 、 w_2 以及它们与 t 的比值参数等均可反映人体血管弹性的改变。其中 h_3 作为重搏前波幅度,主要体现外周血管弹性及阻力情况; h_3/h_1 作为重搏前波幅度与主波幅度之比,主要体现外周血管顺应性及阻力情况; h_4 、 h_4/h_1 作为降中峡幅度及其与主波幅度之比,主要体现血管外周阻力; h_5 、 h_5/h_1 作为重搏波幅度及其与主波幅度之比,主要体现主动脉瓣功能情况和主动脉的顺应性; w_1 、 w_2 作为主波上1/3及1/5处的宽度,主要体现外周血管弹性; w_1/t 、 w_2/t 作为主波上1/3及1/5处的宽度与脉动周期之比,与外周阻力与 h_3 出现的时间有关。本研究结果显示,冠心病组的 h_3 、 h_4 、 h_3/h_1 、 h_4/h_1 较对照组增高,说明冠心病组受检者的外周血管阻力增高,而顺应性及弹性降低。脉象仪部分参数很好地反映了冠心病患者动脉弹性变化。但研究也显示出, h_5 、 h_5/h_1 、 w_1 、 w_2 、 w_1/t 、 w_2/t 等反映血管弹性的参数未出现统计学意义,可能这些参数在反映冠心病患者血管弹性的改变时尚不够灵敏,具有一定的局限性,可结合极速成像技术的参数来综合考虑。

此外,本研究相关性统计结果可见,对照组及冠心病组中PWV-BS、PWV-ES均与 h_3/h_1 、 h_4/h_1 呈正相关($P < 0.05$),冠心病组中PWV-BS、PWV-ES还与 h_3 呈正相关($P < 0.05$),说明脉图参数 h_3 、 h_3/h_1 、 h_4/h_1 与超声极速成像新技术参数间相关性良好。脉象仪技术与超声极速成像技术虽分别源自中、西医不同理论体系,运用的技术原理和方法有所不同,且采样来源于不同的外周血管(超声极速成像技术采样于颈动脉,脉象仪采样于桡动脉),但二者均从不同角度体现了外周血管弹性、僵硬、血管壁顺应性及外周阻力等情况,可谓有异曲同工之妙。本研究结果证实了诸多脉图参数与超声极速成像新技术参数间相关性良好,也进一步完善和推进了脉象的客观化研究。

本研究的先进性在于所采用的极速成像技术是最新研发的测量PWV的方法,能够灵敏地发现动脉硬化

的早期改变。该技术不同于眼底动脉检查、心超检查及常规颈动脉检查。眼底动脉检查仅能通过眼底镜由肉眼观察眼底局部动、静脉外观、走形、粗细,无法观察到动脉硬化早期改变;心超检查虽然能检查心脏收缩、舒张功能;房室大小、形态;瓣膜处血流并可判断有无瓣膜狭窄或瓣膜关闭不全等,但对动脉系统的早期改变评估能力有限,即使对冠状动脉的观察也仅限于冠状动脉开口处、冠状动脉窦;常规颈动脉超声能反映出动脉内中膜增厚、斑块形成等中晚期动脉硬化的表现,但同样无法灵敏的反映出动脉硬化的早期改变。此外,对于冠心病而言,冠状动脉造影虽是公认的诊断冠心病的金标准,但作为有创技术,多用于出现明显动脉粥样硬化症状的患者,且有一定禁忌症,症状较轻或症状不明显的早期患者往往不被推荐,依从性也较差。而超声极速成像技术能早期反映动脉硬化的改变,且无创、便捷、使用人群广泛,是该技术的一大优势。

本研究将极速成像技术与脉象仪技术相结合,除了证实了两种技术均能有效反映冠心病患者动脉弹性的改变,也中、西结合地从不同技术层面综合考虑、分析,更有利于对冠心病患者动脉弹性功能的准确判断,同时进一步拓展了脉象的客观化研究。脉象仪自20世纪50年代初被研发以来,我国已先后开发并生产了十几种脉象仪,但是由于种种原因,至今未能广泛应用于临床各个领域,甚至有人质疑其科学性。本团队既往已在脉象客观化方面做了大量研究,也将这两项技术在原发性高血压患者中进行了应用^[11],本研究为目标人群为冠心病患者的进一步拓展,研究结果均证明了脉象仪的指标反映被测者的心血管功能是科学的,为中医脉象客观化提供了科学依据,有助于中医脉象的深入研究,为中医脉象的现代化研究拓展了新方向。

综上所述,超声UltraFast™极速成像技术是一项测量脉搏波传导速度的新方法,其所得参数PWV-BS、PWV-ES能有效反映冠心病患者的颈动脉弹性功能的改变;脉象仪是能客观反映脉象信息的仪器,其部分参数亦能反映冠心病患者的动脉弹性变化;极速成像技术与脉象仪联合应用能够客观评估冠心病患者的动脉弹性功能。两种技术联合应用从不同的技术层面综合考虑、分析,更有利于对冠心病患者动脉弹性功能的准确判断,且操作简便、无创。极速成像技术与脉象仪的联合应用为临床综合评估冠心病患者动脉弹性提供新方法。此外,本研究联合应用现代超声极速成像新技

术及能有效反映传统脉象的脉象仪技术,证实诸多脉象参数与极速成像技术参数PWV-BS、PWV-ES间具

有良好的相关性,为脉象仪参数的科学性、准确性提供客观依据,并进一步完善了脉象的客观化研究。

参考文献

- 1 Hopewell J C, Seedorf U, Farrall M, *et al.* The PROCARDIS consortium, impact of lipoprotein a levels and apolipoprotein a isoform size on risk of coronary heart disease. *J Intern Med*, 2014, 276(3): 260-268.
- 2 Yamashina A, Tomiyama H. Arteriosclerosis and pulse wave velocity. *Nihon Rinsho*, 2004, 62(1): 80-86.
- 3 O'Leary D H, Polak J F, Kronmal R A, *et al.* Carotid-artery intima and media thickness as a risk factor for myocardial infarction and stroke in older adults. *N Engl J Med*, 1999, 340(1): 14-22.
- 4 胡大一, 向小平, 张仁汉, 等. 心血管疾病诊断进展. 北京: 人民卫生出版社, 2006: 45-58.
- 5 周慧青, 孙宁玲, 杨松娜, 等. 颈动脉粥样斑块及内中膜厚度与冠心病的关系. *高血压杂志*, 2000, 8(4): 287-288.
- 6 朱宇, 卓忠雄. 超声无创技术评价颈动脉粥样硬化斑块的研究进展. *临床超声医学杂志*, 2012, 14(9): 616-618.
- 7 Motobe K, Tomiyama H, Koji Y, *et al.* Cut-off value of the ankle-brachial pressure index at which the accuracy of brachial-ankle pulse wave velocity measurement is diminished. *Circ J*, 2005, 69(1): 55-60.
- 8 许轶君, 肖沪生, 徐芳. 同步WI及脉象技术评估原发性高血压不同病理阶段血管弹性的研究. *上海中医药大学学报*, 2015, 29(2): 17-21, 39.
- 9 张蕾, 勇强, 程虹, 等. 超声极速成像技术评价维持性血液透析患者颈动脉脉搏波传导速度的临床研究. *中国血液净化*, 2015, 14(4): 216-218.
- 10 邱兰燕, 钱林学, 刘冬, 等. 极速成像技术检测的脉搏波传导速度与颈动脉硬化相关性的研究. *中华超声影像学杂志*, 2014, 23(3): 203-205.
- 11 许轶君, 高东雯, 肖沪生, 等. 基于极速成像技术原发性高血压患者脉象客观化研究. *世界科学技术—中医药现代化*, 2018, 20(7): 1215-1219.

Research on Ultrafast Imaging Combined with Pulsography in Detection of Arterial Elasticity in Patients with Coronary Artery Heart Disease

Xu Yijun, Gao Dongwen, Xiao Husheng, Xu Fang, Wang Meiwen

(Shanghai University of Traditional Chinese Medicine Affiliated Longhua Hospital, Shanghai 200032, China)

Abstract: Objective To evaluate the value of UltraFast imaging combined with pulsography in the detection of arterial elasticity in patients with coronary artery heart disease (CHD) and to analyze the correlation between the two techniques. Methods The pulse wave velocity (PWV) of carotid artery and the pulse parameters of radial artery were detected in 44 patients with CHD and 40 healthy volunteers (control group). The PWV of carotid artery was detected by French Supersonic Aixplorer which built-in UltraFast imaging, including the PWV of the beginning of the systole (BS) and the ending of the systole (ES). The pulse parameters of radial artery were detected by DDMX-100 pulsography, including h_1 , h_3/h_1 , h_4/h_1 , h_5/h_1 , h_3 , h_4 , h_5 , t , w_1 , w_1/t , w_2 , w_2/t , etc. The data of CHD group and control group were analyzed and compared by SPSS 18.0 statistical software. The correlations between the parameters of the two techniques were analyzed by Spearman non parametric method. Results The PWV of the CHD group at the BS and ES were higher than those of the control group ($P < 0.05$). The pulse parameters such as h_3 , h_4 , h_3/h_1 and h_4/h_1 of the CHD group were higher than those of the control group ($P < 0.05$). There were positive correlations between the PWV-BS, PWV-ES and the pulse parameters such as h_3 , h_3/h_1 , h_4/h_1 in the CHD group ($P < 0.05$) and also between the PWV-BS, PWV-ES and h_3/h_1 , h_4/h_1 in the control group. Conclusion UltraFast imaging technique combined with pulsography can assess the artery elasticity in patients with CHD and provides a new method for clinical evaluation of arterial elasticity in these patients. The PWV-BS, PWV-ES and the pulse parameters in patients with CHD revealed a significant correlation of the two techniques, which

further expands and improves the research of pulse objectification.

Keywords: Ultrafast imaging, Coronary artery heart disease, Pulse wave velocity, Pulse parameter

(责任编辑:周阿剑,韩紫欣;责任译审:邹建华。)