维普资讯 http://www.cqvip.com

论 著 文章编号:0253-3626(2007)09-0940-03

双袖带法计算脉搏波速度的研究与实践

徐 燕[1],何 为[1],罗开良[2],陈章荣[2],姚建阁[1],余传祥[1]

(1. 重庆大学电气工程学院高电压与电工新技术教育部重点实验室,重庆 400030;
2. 重庆医科大学附属第二医院心内科,重庆 400010)

【摘 要】目的:在示波法的基础上提出一种新的无创测量脉搏波速度(Pulse Wave Velocity,PWV)的方法—双袖带法,并用于临床验证其可靠性。方法:使用两个大小不同的袖带分别采集肱动脉和桡动脉的脉搏波信号。以波足作为起跳点,分析两个信号的时间差 Δt,根据公式 $PWV=\Delta S/\Delta t$ 计算脉搏波速度,其中 ΔS 为肱动脉和桡动脉的体表距离,可用软尺测得。结果:此方法能够可靠、准确、快捷地测量脉搏波速度,而且具有操作简单、测量快速和成本低的优势。结论:双袖带法测量脉搏波速度能够反映正常人与临界高血压患者和高血压患者的差别,起到预测高血压的作用。

【关键词】双袖带法;脉搏波速度;示波法;高血压
【中国图书分类法分类号】R318.6 【文献标识码】A 【收稿日期】2007-03-30

The research and practice of double-cuff method used to calculate pulse wave velocity

XU Yan, et al

(*The Key Laboratory of High Voltage Engineering and Electrical New Technology, the Ministry of Education, College of Electrical Engineering, Chongqing University*)

【Abstract】*Objective*: A new method of measuring pulse wave velocity, double-cuff method, has been proposed based on oscillometric method and used to practice to validate its reliability in this paper. *Methods*: In this method, two cuffs are used to collect pulse wave signals of humerus and oar artery respectively. We analyse the two signals'time difference Δt by choosing wave boot as the pulse beating' start point. Pulse wave velocity can be calculated according to the formula $PWV=\Delta S/\Delta t$, in which ΔS is the distance between humerus and oar artery and can be measured by a soft ruler. *Results*: The double cuff method, which has the advantages of simple operation, speedy measurement and low cost, can measure pulse wave velocity reliably, accurately, fast and simply. *Conclusions*: The pulse wave velocity measured by this new method, which can reflect the differences between normal people and critical or already hypertension suffers, is significant in forecasting hypertension.

【Key words】 Double-cuff method; Pulse wave velocity; Oscillometric method; Hypertension

脉搏波速度是脉搏波沿着动脉管壁传播的速度。其大小变化取决于动脉壁的物理和几何性质,如动脉的弹性,管腔的大小,血液的密度和粘性等,特别是与动脉管壁的弹性密切相关,是评价动脉弹性的经典指标[1,2]。长期以来,国内外许多专家学者对脉搏波速度的研究做了大量的工作[3-5]。研究表明,在心血管病的早期,血管壁已经出现了病变,若能及时发现,并改善生活习惯,就可预防高血压,极大减少其危害。脉搏波速度在评价高血压方面具有重要的意义。

作者介绍:徐 燕(1983-),女,硕士,
主要研究方向:脉搏波信号的处理和血管硬度的测量。

脉搏波速度最早是由 Thomas Young 于 1808 年提出的,后经多位专家学者研究,得出脉搏波速度的理论计算公式:

$$PWV=\sqrt{\frac{Ehr}{\rho R_0^2(2-\sigma)}} \quad (1)$$

其中,K 为常数,E 为杨氏模量,h 为血管壁的厚度,ρ 为血液密度,R_0 为血管的自然半径,ρ 为与血管壁径向张力及形变有关的参数。

实验测量脉搏波速度的方法目前尚未统一,一般都是测量脉搏波的平均速度[6]。计算公式为

$$PWV=\Delta S/\Delta t \quad (2)$$

ΔS 为两个测量部位之间的体表距离;脉搏波传

维普资讯 http://www.cqvip.com

播时间。ΔS 可通过实际测量获得，因此要计算 PWV，只需计算 Δt 的值。

1 材料与方法

为了能够便捷、快速、低成本地测量脉搏波速度，本文提出了一种新的测量脉搏波速度的方法——双袖带法。

1.1 硬件设计

本设计中，硬件电路完成的主要功能有：数据采集，滤波器和 A/D 转换。

数据采集部分利用两个袖带，一个为成人标准规格的袖带，一个为婴儿袖带，测量肱动脉和手腕部的桡动脉处的脉搏波信号。这样做的优势是：肱动脉和桡动脉两者均为外周中等动脉，脉搏搏动明显，便于采集。不但如此，肱动脉为常用的测量血压位置，桡动脉为中医脉诊的常用把脉位置，两者都包含了丰富的心血管系统特征信息，除计算脉搏波速度外，还可分析获得动脉硬化指数、血压、心率、心输出量、外周阻力等参数，便于扩展仪器的性能。测量时袖带的充放气根据示波法原理[7,8]进行。

由于有用的脉搏波信号频率集中在 20Hz 以下，因此对采集得到的脉搏波信号经硬件电路进行低通滤波和陷波处理，以滤除高频干扰信号和工频干扰。

经 A/D 转换，将经过滤波的脉搏波模拟信号转换成计算机能够识别和处理的数字信号，通过串口传输给计算机。

1.2 软件设计

临床试验发现，由于测量过程中各种环境或个人因素的干扰，采集到的脉搏波形不大理想，因此需要对硬件传送过来的数据进行以下软件处理：

从上臂部提取的脉搏信号不可避免带有很大的随机干扰，进行五点平滑处理以消除随机干扰。

测试时的环境噪声或者测试者因紧张或者手臂轻微抖动容易产生干扰波，因此进行去尖峰和去低峰处理。

1.3 计算脉搏波速度

计算机记录肱动脉、桡动脉的脉搏波数据，以波足作为脉搏波起跳点，计算脉搏波传播时间。波足的定义如图 1 所示，其中：

A 点为波谷，直线 l 为过 A 点的水平线；

D 点为 A 点后脉搏波曲线的第一个波峰；

B 点为 A-D 段脉搏波曲线切线斜率最大的点；切线 l' 为过 B 点与 A—D 段脉搏波曲线相切的一条直线；

C 点为直线 l 与切线 l' 的交点；垂线 m 为过 C 点与直线 l 垂直的直线

E 点为垂线 m 与脉搏波曲线的交点，E 点即为 A~D 段脉搏波上升段的波足，即起跳点。

根据公式(2)，计算脉搏波速度，其中 ΔS 为肱动脉到桡动脉的体表距离，可用软尺测量得到；Δt 为脉搏波传播时间，即两个脉搏波信号对应波足之间的时间差。为了减小测量误差，我们常测定舒张压位置后 10 个连续搏动的脉搏波速度，包括一个完整的心动周期，去掉一个最大值和一个最小值，其余各数的平均值作为测量结果。

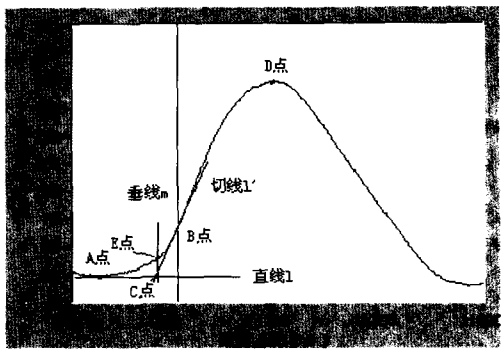


图 1 波足示意图

2 结 果

为了验证双袖带法测量脉搏波速度的有效性和可靠性，我们在重庆医科大学第二附属医院心血管内科医生的协助下，利用本课题研制的测量仪对脉搏波速度进行了临床测试。测试中共选取了 199 位无糖尿病、冠心病、高血脂等的测试者。根据血压测量结果，参照中国高血压指南，将这些测试者分为 3 个组，如表 1 所示。

表 1 血压水平的定义和分组表

分组	类别	例数	收缩压(mmHg)	舒张压(mmHg)
1 组	正常血压	123	<120	<80
2 组	正常高值	30	120 ~ 139	80 ~ 89
3 组	高血压	46	≥140	≥90

测量仪器为 YF/XGYD-3 型血管硬度测量仪，该仪器已通过 YY/T 0287-2003 和 GB/T 19001-2000 认证，获国家视频药品监督管理局颁发的生产许可证。本仪器能够准确可靠地重复测量血压、动脉硬化指数、心率等参数[7~10]。

测量时，测试者取坐姿，保持体态平衡，将大小不同的两个袖带分别绑于被测者肱动脉和手腕桡动脉处。记录测试者的个人资料：姓名、性别、年龄、体重。测量开始，袖带自动充放气，LABView7.0 前面板上显示脉搏波波形和袖带压曲线，充放气结束后，界面立即显示测量结果。整个过程 2min 内即可完成，将测量结果保存为电子表格，便于以后统计分析之用。

用社会科学统计软件 SPSS11.5 对测量数据进行分析。组间差异的比较采用平均数比较，差异的

维普资讯 http://www.cqvip.com

显著性用独立样本 t 检验。各组 PWV 值的统计结果如表 2 所示。

表 2 各组脉搏波速度统计

	组	均值	标准差	标准误
脉搏波速度 (m/s)	1 组	14.63	4.59	0.63
	2 组	17.01	6.09	1.52
	3 组	18.99	5.37	0.98

对 3 组分别进行独立样本的 t 检验，结果如表 3，1~2 组间 P=0.003，1~3 组间 P=0.000，均满足 P<0.05，因此正常组与正常高组和高血压组间的肱-桡动脉脉搏波速度的差异具有统计学意义；而 2、3 组间 P=0.994>0.05，因此正常高值组和高血压组间差异不明显，这可能与样本数较小有关。

实验结果表明，使用双袖带法测量脉搏波速度能够反映临界高血压或者高血压患者与正常人之间的差异(P<0.05)，可作为高血压病的辅助提示。临界高血压和高血压患者之间脉搏波速度差异不够显著，这可能与临界高血压样本数较少有关，有待进一步的观测。

表 3 独立样本 t 检验

脉搏波速度(m/s)组间比较	t 测试						
	t	自由度	P(双尾)	均值差	均值差标准误	95%可信区间 低	高
1、2 组	-3.092	151	0.003	-4.378	1.4161	-7.2047	-1.551
2、3 组	0.008	74	0.994	0.0139	1.7409	-3.4946	3.522
1、3 组	-3.9144	167	0.000	-1.364	1.1151	-6.5829	-2.145

3 讨 论

目前常用无创测量脉搏波速度的方法有以下两种：

(1) 脉冲多普勒法

被测者取卧位，利用脉冲多普勒技术测量两个主动脉的血流频谱，获得清晰的连续 N 个心动周期($N \geq 3$)，保存血流频谱图，测量降主动脉血流频谱起始点与心电图 QRS 波起始点的时间与髂外动脉血流频谱起始点与心电图 QRS 波起始点的时间，两者之差则为脉搏波传导时间。

此方法的特点是测量部位灵活多变，测量过程比较复杂；成本高；要想获得准确的测量结果，操作人员需经过专业培训。

(2) 光电容积脉搏波描记法

光电容积脉搏波描记法是借助光电手段在活体组织中检测血液容积变化的一种无创伤检测方法[11]。它的工作原理：呈周期性脉动的动脉血液容积对光的吸收(散射)和衰减呈周期性脉动变化，经过光电接收器接收后，得到周期性脉动的交流分量。将光强变化信号转换成电信号，便可获得容积血流的变化。根据两测量部位容积血流的特点分析脉搏波传播时间。

光电容积脉搏波的波形特征主要由心血管状况决定，但它也会受到环境温度的影响，环境温度的变化会给测量带来很大误差，这也是此方法在使用中最大的缺点所在。

双袖带法无创测量脉搏波速度克服了以上两种方法的缺点，具有数据采集方便，结果准确可靠，操作简易快速、参数可扩展性强等四大优点，对于高血压的预防和诊断都具有重大的意义。

(通讯作者：何 为，男，E-mail：hewei@cqu.edu.cn，Tel：023-65105242)

参 考 文 献

[1] 柳兆荣，李惜惜. 血流动力学原理与方法[M]. 第 1 版，上海：复旦大学出版社，1997.168-196.

[2] 张维忠. 动脉弹性功能检测的理论与实践(上)[J]. 心脑血管病防治，2003；8(3)：1-2.

[3] 王宏宇. 脉搏波传导速度测定的新认识[J]. 国外医学·心血管疾病分册，2000；27(2)：70-72.

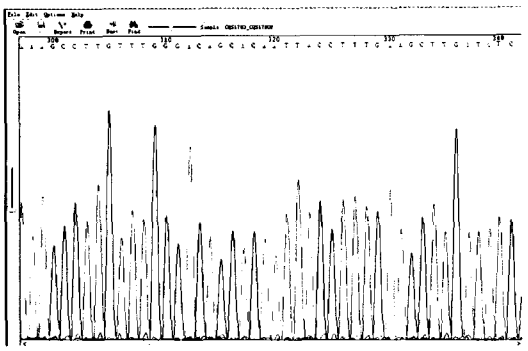
[4] Tsuneo Takenaka，Kenji Kobayashi，Hiromichi Suzuki. Pulse wave velocity as an indicator of arteriosclerosis in hemodialysis patients[J]. Atherosclerosis，2004；176：405-409.

[5] Prabhakar Viswanathan，M.B.B.S，M.Tech，et al. Noninvasive Assessment of age-related Changes in Vascular Elasticity and Pulse Wave Velocity Spectrum[J]. IEEE，1998；104-106.

[6] 王炳和，杨 颙，相敬林. 一种无创测定桡动脉脉搏波速度的方

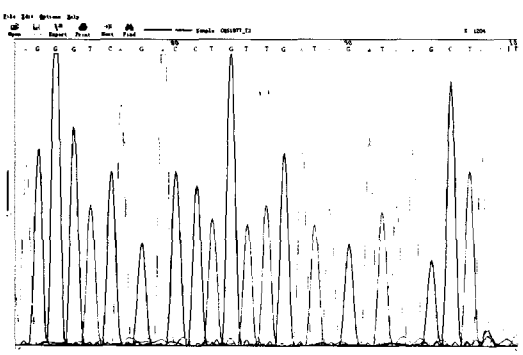
(下转第 945 页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

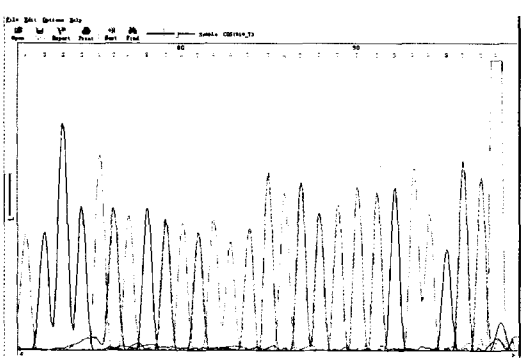


b:重组质粒 pBS / U6-Neo-F1 中 F1 部分

图 2 重组质粒用引物 TW13 的测序结果



a:重组质粒 pBS / U6-Neo-E2 中 E4 部分



b:重组质粒 pBS / U6-Neo-F2 中 F4 部分

图 3 重组质粒用引物 T3 的测序结果

3 讨 论

抑制蛋白活性的研究策略是研究许多生理和病理过程的重要方法。近来研究表明,一些小的双链 RNA 可高效、特异地阻断体内特定基因表达,促使 mRNA 降解,诱使细胞表现出特定基因缺失的表型,即 RNA 干扰。

本课题运用pBS/U6-Neo 载体质粒, 将针对靶序列的寡核苷酸序列设计成具有回文结构的模板链, 在细胞内转录出具有互补序列的单链 RNA,并自身折叠形成发夹样双链结构, 类似于小干扰 RNA,从而达到阻断目的基因表达的目的。经测序表明载体构建成功,为后续的实验奠定了基础。

(通讯作者:徐晓玉,023-68485216,xxy0618@sina.com)

参 考 文 献

[1] 杨世杰,主编.药理学[M]. 北京:人民卫生出版社,2005.123.

[2] 凌昌全,李 敏,朱德增,等.糖皮质激素受体与阴阳虚症关系的初步探讨[J]. 上海中医药杂志,2001;1(1):34-35.

[3] 凌昌全,李 敏.糖皮质激素受体—虚症相关蛋白之一[J]. 上海中医药杂志,2003;37(5):8-10.

[4] 凌昌全,李 敏,朱德增,等.阴阳虚症与糖皮质激素受体关系的临床与实验研究[J]. 浙江中西医结合杂志,2001;11(9):532-533.

[5] Xavier Coumoul,Wenmei Li,Rui-Hong Wang, et al. Inducible suppression of Fgfr2 and Survivin in ES cells using a combination of the RNA interference (RNAi) and the Cre-LoxP system[J]. Nucleic Acids Research,2004;32(10):85-90.

[6] Rashmi G,Shah,Medini M,et al. DNA vector-based RNAi approach for stable depletion of poly (ADP-ribose) polymerase-1 [J]. Biochemical and Biophysical Research Communications,2005;331(1):167-174.

[7] Yang Shi.Mammalian RNAi for the masses[J]. TRENDS in Genetics,2003;19 (1):9-12.

(上接第 942 页)

法及影响脉搏波速度的因素[J]. 生物医学工程学杂志,2000;17(2):179-182.

[7] 全晓莉,何 为,张维维. 利用示波法原理测量血压的一种新方法[J]. 航天医学与医学工程,2006;19(1):71-73.

[8] 张维维,何 为,全晓莉. 应用示波法计算血压方法的改进与实现[J]. 医疗卫生装备,2005;26(11):5-6.

[9] 朱燕秋,杨 浩,何 为. 血管硬化指数的测量方法与临床应用研究[J]. 医疗设备信息,2005;20(9):13-15.

[10] 全晓莉, 何 为, 古良玲. 动脉硬化指数的测量与临床研究[J]. 医疗卫生装备,2006;27(2):1-2.

[11] 罗志昌,张 松,杨益民,等. 光电容积脉搏波描记法原理及其在临床上的应用[J]. 世界医疗器械,2000;16(9):41-47.