

# 脉搏波波速特征点新算法

李明霞, 张永杰, 孙培培, 虞 钢

(中国科学院 力学研究所, 北京 100190)

**摘要:**脉搏波波速是评价心血管系统弹性的重要指标。为了简单、精确、准确地从实测的数字信号中提取波速特征点,在此提出了一种提取特征点的新算法。该算法首先识别出动脉波形中最显著的共同点即上升沿部分,然后由上升沿两端的波峰点和波根点,利用插值算法计算出位于上升沿一定高度处的波速参考点。临床初步验证,利用该方法与交叉点法对比,其所计算的两列脉搏波时间差平均误差为0.078 s,从而有效稳定地计算脉搏波波速。

**关键词:**脉搏波; 上升沿; 特征点; 算法

中图分类号:TN911-34

文献标识码:A

文章编号:1004-373X(2012)03-0132-03

## New algorithm of calculating feature point of pulse wave velocity

LI Ming-xia, ZHANG Yong-jie, SUN Pei-pei, YU Gang

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Science, Beijing 100190, China)

**Abstract:** Pulse wave velocity is an important parameter to describe the flexibility of cardiovascular system. How to obtain the accurate position of the feature points stably becomes a key issue in pulse wave velocity calculation. A new method is introduced to identify the most significant common ground—upstroke. The feature points can be calculated of peak and trough points from upstroke by interpolation algorithm. The experimental results show that the average error of the time difference between two pulse wave calculated by this method comparing to cross-point method is 0.078 s, pulse wave velocity can be analyzed effectively and conveniently by using this algorithm.

**Keywords:** pulse wave; upstroke; feature point; algorithm

## 0 引言

脉搏波源于心脏搏动,传播于遍布人体的动脉血管。人体生理状态决定着脉搏波信号的强度、形态、节律及速率等特征<sup>[1]</sup>;通常情况下人的情绪、体位等也会对脉搏波形产生影响<sup>[2-3]</sup>,这导致脉搏波信号在具有一定规律性的同时,又具有很大的复杂性。脉搏波波速(PWV)是表征心血管硬化程度的重要指标之一<sup>[4]</sup>,PWV的计算依赖于脉搏波在人体不同位置处传播的时间差,即图中两列同源脉搏波某一特征点的时间差,能否有效、准确的计算波速特征点直接影响脉搏波波速的计算结果。

目前用于PWV计算的特征点主要有:波根点,即压力曲线开始上升的那一点<sup>[5]</sup>;最大斜率点<sup>[5-8]</sup>,以上升沿中斜率最大的点;交叉点,指以过波根点的水平线与过上升沿最大斜率点的切线的交点<sup>[6]</sup>;上升沿的1/5高度点<sup>[5]</sup>。目前国际上使用最广泛的测量脉搏波波速的仪器是法国的Complior动脉脉搏波分析系统和澳大利亚的SphygmoCor动脉脉搏波分析系统。它们分别采

用最大斜率法和交叉点法。但是以上方法存在着不同的难点和局限性:实测脉搏波波形包含很多幅值不一的波峰波谷,波根及波根很难定位<sup>[5]</sup>,波根点和上升沿的1/5高度点法都面临此问题;其次上升沿往往不止有一个斜率最大点<sup>[7]</sup>,以最大斜率点和交叉点法都面临此问题;交叉点法算法相对复杂,容易给数字计算带来稳定性问题。

## 1 提取脉搏波特征点的新方法

### 1.1 临床脉搏波波形分析

图1是从临床实测大量脉搏波信号中筛选出的几种比较典型的波形。其中:图(a),(b),(c)为颈动脉波形;图(d),(e),(f)为桡动脉波形;图(g),(h),(i)为股动脉波形。可见波形之间的差异主要在于下降支,而上升沿部分在传播过程中没有受到反射波的明显影响而具有陡直上升的特点,是所有波形的共性。因此可以首先识别出上升沿进而提取波速特征点。

### 1.2 从上升沿分析关键点的原理

通过识别上升沿来确定特征点的原理分两步:首先识别出每一个波形的上升沿,其次通过识别的上升沿来

确定特征点。

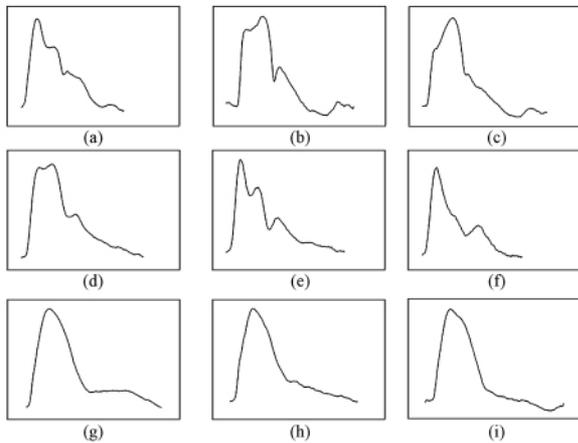


图 1 几种临床典型脉搏波波形式意图

确定特征点具体方法如下:

(1) 分析判断整个信号数据,找出最大值最小值,利用数字信号分析中的穿级计数法,求出一个能够穿过所有上升沿的数值  $P_{mean}$ 。

(2) 在波形数据中寻找每个上升沿中最靠近值  $P_{mean}$  的点,如图 2 中的 A、B、C、D、E 等点。

(3) 从 A 点开始,根据具体系统和采样率采用合适参数向两侧逐点判断寻找波峰点  $P_{峰}$ ,波根点  $P_{根}$ 。

(4) 判断每一对波根波峰代表的上升沿是否属于真实的脉搏波主波,从而剔除错误判断出来的非主波,如 B、G 点。

(5) 在波峰、波谷附近,  $P$  值随  $t$  变化缓慢,  $t$  对  $P$  比较敏感,为了减小用此波根作为特征点带来的误差,可以取上升沿的 1/5 高度点  $M$  为特征点。 $M$  点的横坐标位置可以采用线性插值的方法由波峰波根点求出。

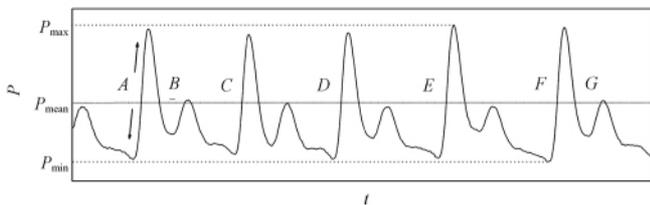


图 2 利用上升沿确定特征点示意图

### 1.3 算法

在计算机中实现寻找波峰波根的算法流程图如图 3 所示。

## 2 算法测试

### 2.1 可靠性

作为目前得到临床认可的一种寻找波速特征点的方法,交叉点法<sup>[6,8]</sup>是指选取复杂波形通过人工工作图得到交叉点,以此作为特征点来求时间差。为了比较本算

法的可靠性,选择 10 组临床实测信号,分别使用交叉点法和本文介绍的上升沿识别法对这些数据进行计算,得出用于 PWV 计算的时间差如表 1 所示。结果平均误差为 0.078 s,属于可接受范围。

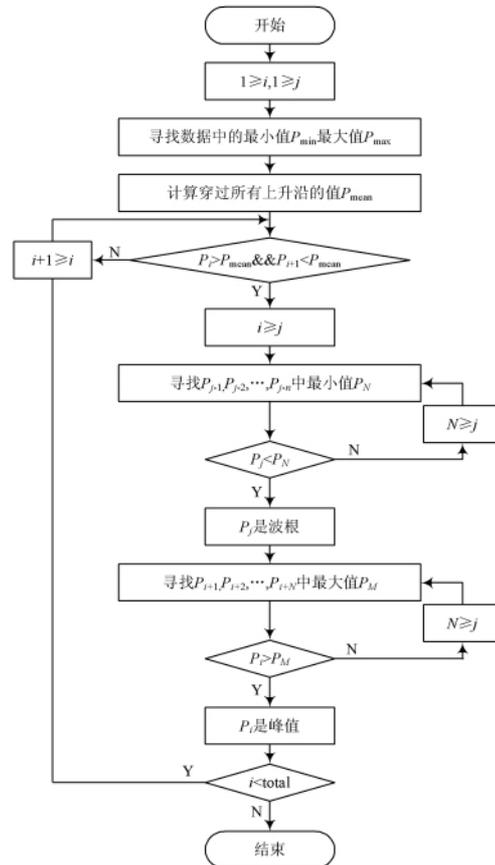


图 3 寻找波峰波根位置的算法流程图

表 1 两种方法计算的时间差 s

实验组	交叉点法	上升沿识别方法
1	0.067	0.071
2	0.061	0.070
3	0.061	0.072
4	0.068	0.067
5	0.058	0.066
6	0.80	0.082
7	0.079	0.080
8	0.058	0.069
9	0.070	0.079
10	0.060	0.069

### 2.2 稳定性

本例针对 4 位不同年龄的正常男性志愿者,为了尽可能保持 PWV 真实值不变,分别在同一时间连续数次测量身体一侧颈桡脉搏波,并利用综合了上升沿识别法的计算机程序计算脉搏波速,可以看到 PWV 计算结果稳定(见表 2)。而偏差原因除 PWV 真实值本身可能随时有小范围波动外,数据的离散化计算和有限的采样率

也使结果存在着不可避免的误差。例如参考实际数据,假设人体颈桡两点的距离  $s$  为 0.64 m,脉搏波传播时间  $t$  为 0.08 s,所用采集系统采样率为 446 Hz,则离散化误差的大小为:

$$\begin{aligned}\Delta PWV &= \frac{s}{t_1} - \frac{s}{t_2} = \frac{s(t_2 - t_1)}{t_1 t_2} \\ &= \frac{0.64 \times 1/446}{0.08^2} = 0.224 \text{ m/s}\end{aligned}$$

表2 上升沿识别法多次计算波速结果

测试者	年龄	测量次数	均值/(m/s)	标准差
甲	22	11	7.12	0.48
乙	28	15	7.95	0.47
丙	31	8	8.64	0.19
丁	52	15	8.19	0.51

### 3 讨论

本文所述上升沿识别法的优点有:

(1) 适应性好,算法基于任何人体部位的脉搏波信号的共同点即上升沿提出。

(2) 识别性强。例如对于反射波上移超过主波的情形(见图4), $D$ 点为反射波波峰,如果采用波峰波谷法,往往只能识别出 $D$ 点,但是真正应该识别出的却是上升沿上的 $B$ 点。本算法就能够通过设定合理判断波根波峰准则的参数来识别类似的点。

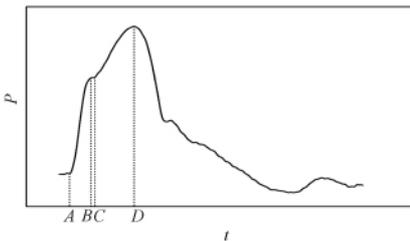


图4 反射波波速比较快的脉搏波示意图

(3) 算法简单,对硬件要求低。

(4) 精度高。结合了波峰波谷与1/5高度点法,采

作者简介:李明霞 女,1983年出生,硕士。主要研究方向为一般力学与力学基础。

虞钢 男,博士,研究员。主要研究方向为一般力学与力学基础。

(上接第131页)

- [6] 王飞,郑继刚. 雷达信号载频精确估计的一种方法[J]. 舰船电子对抗,2006,29(4):176-180.
- [7] 齐国清,贾欣乐. 插值FFT估计正弦信号频率的精度分析[J]. 电子学报,2004,32(4):625-629.
- [8] 刘渝. 快速高精度正弦波频率估计综合算法[J]. 电子学报,

作者简介:黄富彪 男,1986年出生,四川成都人,在读硕士研究生。主要研究方向为卫星测控技术。

何兵哲 男,1966年出生,陕西西安人,研究员。主要研究方向为卫星测控技术。

用插值算法减小误差。

### 4 结论

在与原有提取波速特征点的方法对比的基础上,本文提出了一种提取特征点的新算法。该算法首先识别出动脉波形中最显著的共同点——上升沿部分,然后由上升沿两端的波峰点和波根点,利用插值算法计算出位于上升沿一定高度处的波速参考点。经临床初步验证,利用该算法能够有效、准确、稳定地计算出两列同源脉搏波的时间差,从而有效稳定地计算脉搏波波速。在本方法基础上,通过改变判断上升沿、波根、波峰点时判断中的参数,可以更好地适应不同的脉搏波。脉搏波分析是一个多步骤的工作,提高采样率以及预处理中去除更多的噪音成分,都能有效的提高计算结果的准确性。

### 参考文献

- [1] 罗志昌,张松,杨益民. 脉搏波的工程分析与临床应用[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [2] 纪桂英,武留信,陈同欣,等. 立位耐力不良飞行员的血液动力学指标与心率变异性的改变[J]. 中华航空医学杂志,1997,8(2):94-97.
- [3] 牟文英,虞钢,庄逢源,等. 考虑体位改变的血液动力学数学模型[J]. 医用生物力学,2008,23(6):441-445.
- [4] TINE WH, JOERGEN J, SUSANNE R, et al. Pulse wave velocity and cardiovascular disease in a general population [J]. American Heart Journal, 2005, 18(5):A14.
- [5] 柳兆荣,李惜惜. 血液动力学原理和方法[M]. 上海:复旦大学出版社,1997.
- [6] CHIU YC, ARAND PW, SHROFF SG, et al. Determination of pulse-wave velocities with computerized algorithms [J]. American Heart Journal, 1991, 121: 1460-1470.
- [7] 李婷,虞钢. 基于压力波的人体脉搏波传播速度无创检测研究[J]. 中国生物医学工程学报,2007,26(3):321-325.
- [8] MILLASSEAU SC, STEWART, PATEL SJ, et al. Evaluation of carotid-femoral pulse wave velocity-influence of timing algorithm and heart rate [J]. Hypertension, 2005, 45: 222-226.

1999,27(6):591-598.

- [9] 王宏伟,赵国庆,齐飞林. 一种实时精确的正弦波频率估计算法[J]. 数据采集与处理,2009,24(2):208-211.
- [10] 朱雪田. 低信噪比下的提高正弦波频率估计精度算法[J]. 电路与系统学报,2001,6(4):103-106.