原著

歪率による脈波形状の定量化法

—工学的手法を用いた脈波形状の定量化—

石山 仁¹⁾ 笠原 宏¹⁾ 上馬場和夫²⁾許 鳳浩²⁾ 天野 和彦³⁾ 石井 弘允³⁾

A Method to Quantificate Pulse Waveform with Distortion Factor

—Quantificate of Pulse Waveform with Engineering Technique—

Hitoshi ISHIYAMA¹⁾ Hiroshi KASAHARA¹⁾ Kazuo UEBABA²⁾Fenghao XU²⁾ Kazuhiko AMANO³⁾ Hiromitsu ISHII³⁾

1) Tokyo Denki University, 2-2, Kanda-Nishiki-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 101 Japan

2) Kitasato Institute, Tokyo

3) Nihon University, Tokyo

Abstract In engineering, when the degree of distortion of the waveform of the signal is expressed numerically, a coefficient called a distortion factor is used. In order to determine whether or not it is possible to quantify the difference in pulse waveforms in terms of a distortion factor, the authors carried out a Fourier analysis of the pulse waves of 74 cases (74 males between 20 and 40 years of age), calculating the distortion factor of these pulse waves. Employing the pulse wave scale devised by Zhaofu Fei et al, the Ping mai, Hua mai and Xuan mai were differentiated by means of the amplitude ratio of the dicrotic notch to the ejection wave. As a result of a comparison between the distortion factors of these three groups, the authors were successful in quantifying the differences between the wave forms in terms of a distortion factor.

Key words: Distortion factor, Fourier analysis, pulse wave, pulse wave scale

Nihon Toyo Igaku Zasshi (Japanese Journal of Oriental Medicine), 46, 243-249, 1995

(accepted 23 Mar, 1995)

緒言

脈波は心臓から血管内を伝搬する圧力波であり、高調波成分を含んだ波形である。これまでに、脈波の形状を定量化する試みとして周波数ス

ペクトルのパターンで行う方法が報告されており^{6) 7)}、この方法は基本波と第2調波の振幅比、基本波と第3調波の振幅比および基本波の半値幅等の複数のパラメータで定量化するものである。また、先に著者らが報告した四要素集中定数モデ

1) 賛, 東京電機大学工学部, 東京, 〒101 千代田区神田錦町2-2

2) 医, 北里研究所 BI センター, 東京

3) 日本大学理工学部, 東京

[1995年3月23日受理]

図1 歪波の例

ルのパラメータを用いた方法¹⁾では、循環動態の評価に合わせた形状の推定が可能であるが、脈波を記録する装置の他に1回拍出量を測定する装置が必要となる。

一方、工学系において信号波形の歪の程度を数値化する場合、歪率と呼ばれる係数がよく用いられる。歪率は、信号波形のフーリエ解析結果より容易に算出することができる。また、それに必要な測定は信号波形の記録だけでよい。今回、著者らはより簡単な装置構成で、また、より少ないパラメータの数で脈波形状の定量化を行う一つの手段として歪率に着目した。記録脈波を Dicrotic notch と Ejection wave の振幅比により費兆馥らの脈波模型³⁾⁴⁾で平脈、滑脈および弦脈といわれている形状に選別してそれら3群の歪率について比較検討を行った結果、歪率で脈波形状の違いとそれに伴う脈波診断名の差を定量的に表すことができた。

歪波と歪率

正弦波でない波形を一般に歪波という。歪波は次式で示すように、正弦関数の級数の和で表すことができる。

$$y = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \theta_1) + A_2 \sin(2\omega t + \theta_2) + \dots + A_n \sin(n\omega t + \theta_n) \dots \dots (1)$$

ここで、 A_0 は直流分、 A_1 は基本波の振幅、 A_2 は第2調波の振幅、 $\dots$ 、 A_n は第 n 調波の振幅であり、 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ は各調波の位相である。また、 ω は基本波の角周波数であり、基本波の周波数を f とすると $\omega = 2\pi f$ である。歪率 d は波形に含まれている全高次高調波の振幅と基本波成分の振幅との比であり、次式のように定義される。

$$d = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + \dots + A_n^2}}{A_1} \dots \dots (2)$$

図1に歪率が異なる歪波の一例を示す。同図で

示されるように、 $d=0$ の波形では高調波成分が零であるから完全な正弦波であるが、歪率が $0.25 \rightarrow 0.50 \rightarrow 0.75$ と大きくなるにしたがってより歪た波形になる。

脈波の記録

本論文の脈波サンプル群は既報(1)のサンプル群の一部であり、次のようにして記録したサンプルである。特に症状を訴えない74名(20~46歳、平均34歳)の男性志願者について文書による同意を取得した後、午前中空腹時(9:30-12:30)において15分間の安静を保ったのち、座位にて脈波の記録を行った。脈波は図2のように日本コーリン社製の連続血圧監視装置(CBM-2000)で記録

図2 脈波の記録

し、74例/74名の脈波を記録した。

以上、記録した脈波の10拍の加算平均波形についてフーリエ解析を行い、(2)式より歪率を算出した。フーリエ解析は第10調波まで行った。

既報(1)では記録した脈波について費兆馥らの脈波模型^{3) 4)}を参考にしながら図3に示す Dicrotic notch y_{dn} と Dicrotic wave y_{dw} の大きさにより目測にて形状A(脈波模型で滑脈であるとされる形状)、B(平脈)、C(弦脈)に選別した。 y_{dw} と y_{dn} の差が大きい脈波は形状Aに、中程度の脈波は形状Bに、 y_{dw} が非常に小さい(または無い)脈波は形状Cに選別した。選別を視覚的に行う関係上、複数で選別すると選別者間の差が問題となるので1名で選別した。その結果、74例中、形状Aに15例(20.3%)、形状Bに21例(28.4%)、形状Cに14例(18.9%)選別できた。残り24例(32.4%)については脈波模型と比較した結果、不適合とした。

本論文では脈波形状の選別をより客観的に行うため、まず、視覚的に選別した形状A~Cにおける記録脈波の Dicrotic notch と Ejection wave の振幅比 y_{dn}/y_{ew} を調べ、次のような範囲(平均値±標準偏差)を得た。

形状Aの範囲： $0.188 \leq y_{dn}/y_{ew} \leq 0.310$

形状Bの範囲： $0.295 \leq y_{dn}/y_{ew} \leq 0.351$

形状Cの範囲： $0.445 \leq y_{dn}/y_{ew} \leq 0.513$

図3 形状A, B, Cの選別範囲

図4 形状Aに選別した記録脈波の例 (脈波模型で滑脈であるとされる形状)

図5 形状Bに選別した記録脈波の例 (脈波模型で平脈であるとされる形状)

図6 形状Cに選別した記録脈波の例 (脈波模型で弦脈であるとされる形状)

図7 各形状の歪率の範囲

ここで、形状Aの上限と形状Bの下限が重なっているのを平均を取り、次のように選別範囲を設定した。

形状Aの選別範囲： $0.188 \leq y_{dn}/y_{ew} < 0.303$

形状Bの選別範囲： $0.303 \leq y_{dn}/y_{ew} \leq 0.351$

形状Cの選別範囲： $0.445 \leq y_{dn}/y_{ew} \leq 0.513$

この選別範囲を基に、既報(1)と同一サンプルである74例の記録脈波を改めて形状A～Cに選別しなおした。

結 果

74例中、形状Aに14例(18.9%)、形状Bに18例(24.3%)および形状Cに13例(17.6%)選別できた。図4～図6に著者らが形状A～Cに選別した記録脈波の一例とその振幅比 y_{dn}/y_{ew} および歪率 d を示す。図7は形状A～Cの歪率の範囲である。表1は形状A～Cの3群間の差とそれぞれ2群間の差を検定した結果であり、各形状間の歪率に1%または5%水準で有意差有りの結果を得た。74例中どの選別範囲にも当てはまらなかった脈波が29例(39.2%)あり、 $y_{dn}/y_{ew} < 0.188$ が2例、 $0.351 < y_{dn}/y_{ew} < 0.445$ が19例、 $y_{dn}/y_{ew} > 0.513$ が8例あった。それらの歪率 d は平均で1.301(2例分)、0.902(19例分)、0.792(8例分)であり、図7に示すように形状Aの上限以上の点、形状Bと形状Cの間、形状Cの下限付近に分布している。

歪率 d は形状A→形状B→形状Cの順に小さくなるという結果を得た。波形に含まれる高調波成分の振幅が少なくなると(2)式からわかるように歪率は小さくなる。これより、形状A(滑脈とされる形状)のように Dicrotic notch と Ejection wave の振幅比 y_{dn}/y_{ew} が小さい形状から形状C(弦脈とされる形状)のように y_{dn}/y_{ew} が大きな形状に移るにつれて脈波に含まれる高調波成分は減少していくということがいえる。

図7において形状Aと形状Bが重なっている範囲($0.993 < d < 1.055$)の脈波は今のところ形状Aと形状Bの複合波と考えているが、図7に示す選別範囲外の脈波の判定も含めて、今後、検討すべき重要な課題である。

表1 各形状間の歪率の有意差検定結果

一元配置分散分析	P < 0.01	
対比較 (Bonferroni 法)	形状 AB 間	P < 0.05
	形状 AC 間	P < 0.01
	形状 BC 間	P < 0.01

総 括

74例/74名の脈波を Dicrotic notch と Ejection wave の振幅比により費兆馥らの脈波模型^{3) 4)}で平脈、滑脈、弦脈であるとされる形状に選別した。これら3群の歪率について比較検討を行った結果、脈波形状の違いを定量的に表すことができた。脈波形状の違いを正確に判定するためには中医の診断が必要であるが、今回の結果をみる限りにおいては歪率という1個のパラメータのみで、脈波形状の違いとそれに伴う脈波診断名の差を定量的に分類または評価できる可能性を示唆していると思われる。本方式で必要な測定は脈波の記録だけであり、歪率は全高次高調波の振幅と基本波成分の振幅との比((2)式)で求められるから検出した脈波を血圧値に校正する必要がない。また、歪率を算出するのに必要な各調波の振幅は記録した脈波の時系列データをフーリエ解析することにより容易に求めることができる。それゆえ、装置構成や処理プログラムを簡素化できるので、たとえば著者らが先に開発した触覚検出型脈波計⁵⁾とコンピュータを組み合わせると自動的に脈波形状の判定が行える装置を構成することが可能である。

文 献

- 1) 石山 仁, 笠原 宏, 児玉和夫, 許 鳳浩, 天野和彦, 石井弘允: 循環動態パラメータによる脈波形状の一定量化法, 日本東洋医学雑誌, 45巻1号, 115-121, 1994
- 2) 石山 仁, 笠原 宏, 児玉和夫, 許 鳳浩: 電気回路動脈系モデルを用いた桡骨動脈波形による循環動態パラメータの非観血的測定法, 電気学会論文誌C, 113巻4号, 267-274, 1993
- 3) 費兆馥(主編): 中国脉診研究, 上海中医学院出版社

- 4) 神戸中医学研究会：中医臨床のための舌診と脈診，1992
- 5) 石山 仁，笠原 宏：触覚検出型脈波計，日本東洋医学雑誌，41巻1号，41-46，1990
- 6) 黒野保三，石神龍代，長谷川泰洋，堀田 健：脈波の分析と東洋医学との対応，全日本鍼灸学会雑誌，31巻4号，359-363，1982
- 7) 石神龍代，黒野保三，堀 茂，山田 耕，堀田 健：脈波の分析と東洋医学との対応(その2)，全日本鍼灸学会雑誌，33巻3号，266-271，1984
- 8) 天野和彦，小野 隆，石井弘允，児玉和夫，許鳳浩：指尖容積脈波による末梢循環状態の無侵襲的測定，平成5年度計測制御学会学術講演論文集，651-652，1993
- 9) 天野和彦，山本博志，小野 隆，石井弘允，児玉和夫，許 鳳浩：指尖容積脈波による末梢循環状態の無侵襲的測定(Ⅱ)，平成6年度電気学会全国大会，475，1994

要旨 工学系において信号波形の歪の程度を数値化する場合，歪率と呼ばれる係数がよく用いられる。著者らは脈波形状の違いを歪率で定量的に表すことが可能かどうかを考察するため，74例(20～40代の男性，74名)の脈波についてフーリエ解析を行い，その脈波の歪率を算出した。記録した脈波を **Dicrotic notch** と **Ejection wave** の振幅比により費兆馥らの脈波模型で平脈，滑脈および弦脈といわれている形状に選別し，それら3群の歪率を比較した結果，歪率で形状の違いを定量的に表すことができた。

キーワード：歪率，フーリエ解析，脈波，脈波模型