橈骨動脈圧波形のローカリティによる形状分類法とその検討

正員 天野 和彦 (セイコーエプソン)

正員 石山 仁 (東京電機大学)

正員 笠原 宏 (東京電機大学)

非会員 上馬場 和夫 (富山県健康プラザ)

A Study of Classification of the Radial Pressure Pulse by Locality of the Waveform

Kazuhiko Amano, Member (SEIKO EPSON Corporation),

Hitoshi Ishiyama, Member, Hiroshi Kasahara, Member (Tokyo Denki University),

Kazuo Uebaba, Non-member (Toyama International Health Complex)

At present, a classification of the radial pulse waveform is done subjectively by the oriental medicine. Quantitative recognition of the radial pulse waveform has not been presumed to establish until now. For this purpose, we have investigated the correspondence between the radial pressure pulse waveform of 80 episodes (80 adults with normal physical findings) and the classification by three pulse diagnosis experts. It was found that, (1) the radial pressure pulse waveform quantification is related to ΔBP_p and ΔBP_D , and that, (2) the fundamental radial pressure pulse waveform classification in three groups; HUA mai, PIWG mai and XIAN mai in the Oriental pulse diagnosis is well correlated to ΔBP_p and ΔBP_D , that is presented here, "Locality of the waveform".

キーワード: 橈骨動脈圧波形, 脈波形状分類法, 触覚, エキスパートシステム, 動脈硬化

1. まえがき

東洋医学においては、指先により橈骨動脈圧波形を観察し、平脈、滑脈、弦脈等の脈診診断名に分別することで、循環系全体の健全な状態を表す生理的な年齢に関連するスクリーニングの指標とし、漢方薬等の処方による治療がおこなわれている⁽¹⁾⁽²⁾。著者らは、脈波が循環系全体の総合的な健全さを反映している指標の一つと考える。ところが、東洋医学の平脈、滑脈、弦脈という総合的な分別は、臨床あるいは、脈波形状を発生するモデルを用いて触覚を通じた教育で伝承されてきた。近年では橈骨動脈波をセンサによる電気信号に変え、これを視覚化して分類する試みが成されている^{(3)~(9)}。しかし、例えば費氏らにより公表されている文献には分類するための項目と範囲を文章化するに止まっており、東洋医学の平脈、滑脈、弦脈という総合的な分別をする明確なアルゴリズムの形にはなっていない⁽²⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。一方、西洋医学においては、循環系の状態を非観血的に測定した橈骨動脈圧波形から推定するいくつかの報告がある^{(12)~(14)}。

本研究は、臨床で用いられる血圧値、心拍出量等の循環系の指標に加え、東洋医学の平脈、滑脈、弦脈という総合的な中医医師の分別をエキスパートシステムとして捉え、機械化することで、循環系の加齢に伴う動脈硬化の程度等の生理的な動態情報を得ることを目的とした脈波形状分類システムの開

発をめざしている^{(15)~(19)}。先に著者らはフーリエ解析による周波数スペクトラムから算出したひずみ率を用いて脈波形状の違いを定量化した⁽²²⁾。これは、時間領域での脈波形状の違いを周波数領域のパターンの違いとして表したものである。しかしながら、東洋医学の平脈、滑脈、弦脈という総合的な中医医師の触覚での分別法は、センサができる以前からの方法であり⁽¹⁾⁽²⁾、指先の感覚は圧力の強さの絶対値よりむしろ、その変化量に対してよりセンシティブになるという報告がある^{(23)~(25)}。

そこで、本論文ではこのことに着目して視覚化した橈骨動脈圧波形は用いるが、これら中医医師の知識表現法により親和性があると考えられる橈骨動脈圧波形の局所的な時間変化に注目し、これを“橈骨動脈圧波形のローカリティ”と呼び、平脈、滑脈、弦脈の形状を分類することを提案する^{(26)~(29)}。

具体的には、非侵襲的な計測により視覚化した橈骨動脈圧波形を直接利用し、ejection waveのピークとdicrotic notchとの振幅差(ΔBP_p)および、dicrotic notchとdicrotic waveのピークの振幅差(ΔBP_D)による脈波波形の形状分類をおこない、東洋医学の脈診をおこなうエキスパートである中医医師および、脈診の臨床研究者による橈骨動脈圧波形の視覚的な分別に基づいた分類法との比較をおこなう。まず、機械化により脈波波形の形状分類が可能かどうかを考察するため、日を変えての繰り返し測定なしで80例(健康成人80名:22歳から46歳)の橈骨動脈圧波形を計測した。次に、記録した橈骨動脈圧波

形を上海中医薬大学中医診断研究室の中医医師2名および、脈診の臨床研究をする日本の医師 1 名が視覚的に滑脈、平脈および、弦脈とされる脈波波形の 3 群に分別し、これら 3 群の間で ΔBP_p , ΔBP_D の有意差検定をおこない比較した。

その結果、前記 3 名がおこなう橈骨動脈圧波形の分別は、橈骨動脈圧波形の局所的な時間変化に注目した ΔBP_p , ΔBP_D により、滑脈と平脈および、滑脈と弦脈については 3 名共に 1%水準で有意差ありとなる再現性を確認した。また、平脈と弦脈については日本の医師 1 名が平脈に分別した動脈圧波形の ΔBP_p , ΔBP_D が中医医師 2 名と比べ大きいため、日本の医師 1 名について、1%水準で有意差ありとなった。

図 1 脈診の概観

Fig.1. Overview of the Pulse Diagnosis.

2. 脈診法

図 1 は、東洋医学の医師による脈診の概観を示したものである⁽¹⁾⁽²⁾。診断者は、第 2 指、第 3 指、第 4 指を被験者の橈骨茎状突起の中枢寄りから弓形になるように立てて指先をそろえて置き、診断者の各指に加える押圧を変え、指先での圧脈波の感じ方により、被験者の疾患や循環動態を診断する。先に筆者らは、診断者が指先でおこなう、被験者の脈を感じながら指先の深さを段階的に変えて、脈波形状を分別している時の主観的な脈の強さと橈骨動脈の変形する状況の関係を明らかにするため、超音波画像法による橈骨動脈上の表皮および、橈骨動脈の変位量と血圧値の関係を検討し、報告した^{(30)~(32)}。これより、診断者の指先が脈診プロセス中に得ている脈波形状を、被験者の橈骨動脈上の表皮に加える押圧レベルによる橈骨動脈周辺組織の変位にともない静的に変化する刺激と、橈骨動脈周辺の組織が変位した状態で心臓の拍動により橈骨動脈内圧が変化することに伴う橈骨動脈圧波形の振幅変化による刺激を血圧値と関係付けた。

そこで本実験においては、この橈骨動脈圧波形のローカリティに注目した形状分類法と、前記 3 名による橈骨動脈圧波形の視覚的な分別に基づいた分類法との比較をおこない、その検討をする。

3. 実験方法

図 2 橈骨動脈圧波形の記録法

Fig.2. Overview of the experimental apparatus.

3.1. 橈骨動脈圧波形の記録法

図 2 は、本測定で用いた橈骨動脈圧波形の記録をする構成を示したものである。測定は、被験者の遠位前腕に保持した連続血圧監視装置(コーリン製 CBM-2000)の橈骨動脈圧センサの振幅が最大となるよう設定し、腕帯血圧による収縮期血圧と拡張期血圧で、橈骨動脈圧センサの出力波形を校正し、測定中に押圧の再設定および、血圧の再校正をおこなわないこととする。なお、橈骨動脈圧データは、パーソナルコンピュータへ 10ms 毎に取り込み、80 秒間記録する。実験条件は、22 歳から 46 歳の健康成人 80 名に対して、午前中空腹時(09:30~13:30)に 15 分間の安静後に座位で、メトロノームにより 2 秒間隔で呼吸させることとする。また、被験者の循環動態の変動が問題となるので、日を変えての繰り返し測定による橈骨動脈圧波形の平均化を行わないこととした。本報告では、記録した橈骨動脈圧波形を上海中医薬大学中医診断研究室の中医医師 2 名および、脈診の臨床研究をする日本の医師 1 名が各々単独で視覚的に滑脈(A:HUA mai)、平脈(B:PIWG mai)および、弦脈(C:XIAN mai)とされる脈波波形の 3 群に分別することとした。

3.2. 橈骨動脈圧波形の分類指標

図 3 橈骨動脈圧波形

Fig.3. Radial Pressure Waveform.

図3は、連続血圧監視装置により得た橈骨動脈圧波形の一例で、10拍の加算平均をしてある。橈骨動脈圧波形の一周期は、心臓からの血液の拍出による駆出波(ejection wave)、動脈分岐部からの反射波である退潮波(tidal wave)、大動脈弁の閉鎖による切痕(dicrotic notch)の後、切痕波(dicrotic wave)が現れている。この時の振幅変化の基線となる血圧値を拡張期 BP_{dia} 、振幅変化の最大となる血圧値を収縮期血圧 BP_{sys} 、圧波形の平均となる血圧値を平均血圧 BP_{mean} 、圧脈波の振幅の大きさである拡張期血圧 BP_{dia} と収縮期血圧 BP_{sys} の差圧を脈圧 ΔBP として臨床で用いている。さらに、本報告では橈骨動脈圧波形の形状を分類するため、80例の駆出波のピーク、退潮波のピーク、切痕の振幅 BP_{Dd} 、切痕波のピークの値より、この駆出波のピークから切痕の振幅を ΔBP_p および、切痕から切痕波ピークの振幅を ΔBP_D として、前記3名の分別した結果と橈骨動脈圧波形の形状分類との統計的な検討をする。

4. 結果

4.1. 視覚的な分別による形状分類

記録した80例/80名の橈骨動脈圧波形は、時間軸を5秒、血圧の軸を0mmHgから150mmHgとして、すべて同じスケールで印刷し、前記3名(Tester A, Tester B, Tester C)が一呼吸周期分の5~6波形を総合して個別の視覚的な分別に基づいて滑脈(A:HUA mai)、平脈(B:PIWG mai)、弦脈(C:XIAN mai)に分類した。なお、複数の形状の特徴を持ち合わせている場合と、滑脈および、弦脈より極端な脈波形状の特徴を持つ場合、不明に分類した。その結果、Tester Aは、滑脈(A:HUA mai)に36例、平脈(B:PIWG mai)に11例、弦脈(C:XIAN mai)に10例を視覚的に分別し、残り23例を不明に分類した。

Tester Bは、滑脈(A:HUA mai)に35例、平脈(B:PIWG mai)に4例、弦脈(C:XIAN mai)に10例を視覚的に分別し、残り31例を不明に分類した。Tester Cは、滑脈(A:HUA mai)に18例、平脈(B:PIWG mai)に23例、弦脈(C:XIAN mai)に14例を視覚的に分別し、残り25例を不明に分類した。次に、前記3名が視覚的な分別に基づいて分類した橈骨動脈圧波形について、 ΔBP_p 、 ΔBP_D の大きさによる分類法による結果と比較する。

4.2. ΔBP_p 、 ΔBP_D による形状分類

図4、図5、図6は、80例/80名を前記3名が滑脈(A:HUA mai)、平脈(B:PIWG mai)および、弦脈(C:XIAN mai)と分別した橈骨動脈圧波形である。提示した橈骨動脈圧波形は、3名が分別した3群から求めた ΔBP_p および、 ΔBP_D の平均値に近い橈骨動脈圧波形と、その ΔBP_p 、 ΔBP_D である。図4(a)、図4(b)は滑脈(A:HUA mai)と分別した被験者A1および、被験者A2の橈骨動脈圧波形で、それぞれの ΔBP_p 、 ΔBP_D は、36.5mmHg、9.1mmHgおよび、36.1mmHg、8.8mmHgである。図5(c)、図5(d)は、平脈(B:PIWG mai)と分別した被験者B1および、被験者B2の橈骨動脈圧波形で、それぞれの ΔBP_p 、 ΔBP_D は、25.6mmHg、2.5mmHgおよび、27.5mmHg、3.4mmHgである。図6(e)、図6(f)は、弦脈(C:XIAN mai)と分別した被験者C1および、被験者C2の橈骨動脈圧波形で、それぞれの ΔBP_p 、 ΔBP_D は、19.9mmHg、2.1mmHgおよび、20.3mmHg、2.5mmHgである。ここで、滑脈(A:HUA mai)と分別した図4(a)の被験者A1、図4(b)の被験者A2および、弦脈(C:XIAN mai)と分別した図6(e)の被験者C1、図6(f)の被験者C2については、3名の分別結果が一致している。また、平脈(B:PIWG mai)と分別した図5(c)の被験者B1、図5(d)の被験者B2は、中医医師2名の分別結果が一致している。

(a) Subject A1(HUA mai)
(age:26,man $\Delta BPP=36.5\text{mmHg}$, $\Delta BPD=9.1\text{mmHg}$)

(b) Subject A2(HUA mai)
(age:23,man $\Delta BPP=36.1\text{mmHg}$, $\Delta BPD=8.8\text{mmHg}$)

図4 東洋医学の脈診法で滑脈に分別した橈骨動脈圧波形

Fig.4. Radial Pressure Waveform called HUA mai in the classification of the Oriental pulse diagnostic method.

(c) Subject B1(PIWG mai)

(age:30,man $\Delta BPP=25.6\text{mmHg}$, $\Delta BPD=2.5\text{mmHg}$)

(d) Subject B2(PIWG mai)

(age:40,man $\Delta BPP=27.5\text{mmHg}$, $\Delta BPD=3.4\text{mmHg}$)

図 5 東洋医学の脈診法で平脈に分別した橈骨動脈圧波形

Fig.5. Radial Pressure Waveform called PIWG mai in the classification of the Oriental pulse diagnostic method.

(e) Subject C1(XIAN mai)

(age:33,man $\Delta BPP=19.9\text{mmHg}$, $\Delta BPD=2.1\text{mmHg}$)

(f) Subject C2(XIAN mai)

(age:38,man $\Delta BPP=20.3\text{mmHg}$, $\Delta BPD=2.5\text{mmHg}$)

図 6 東洋医学の脈診法で弦脈に分別した橈骨動脈圧波形

Fig.6. Radial Pressure Waveform called XIAN mai in the classification of the Oriental pulse diagnostic method.

図 7 は、80 例の駆出波のピークから切痕の振幅 ΔBP_p と、切痕から切痕波のピークの振幅 ΔBP_o との関係を示したものである。この時、相関係数 r は 0.86 で、決定係数 r^2 は 0.74 である。これより、 ΔBP_p 、 ΔBP_o が大きくなるにしたがい、圧波形の形状は、矩形から、振動形に変化し、 ΔBP_p 、 ΔBP_o の大きさにより、橈骨動脈圧波形の形状の特徴を抽出していることがわかる。したがって、 ΔBP_p および、 ΔBP_o は、前記 3 名が滑脈(A:HUA mai)、平脈(B:PIWG mai)、弦脈(C:XIAN mai)と分別した順序で小さくなる。

図 7 において、滑脈(A:HUA mai) と分別した図 4(a)の被験者

A1、図 4(b)の被験者 A2、平脈(B:PIWG mai) と分別した図 5(c)の被験者 B1、図 5(d)の被験者 B2、弦脈(C:XIAN)と分別した図 6(e)の被験者 C1、図 6(f)の被験者 C2 のプロットを示す。これより、2 名の分別結果が一致した平脈(B:PIWG mai) と分別した図 5(c)の被験者 B1、図 5(d)の被験者 B2 のプロット間距離に対し、3 名の分別結果が一致した滑脈(A:HUA mai) と分別した図 4(a)の被験者 A1、図 4(b)の被験者 A2 および、弦脈(C:XIAN mai)と分別した図 6(e)の被験者 C1、図 6(f)の被験者 C2 のプロット間距離が小さく、橈骨動脈圧波形の形状に近いことがわかる。

図7. Relationship between ΔBP_D , ΔBP_P .

図8は、前記3名(Tester A, Tester B, Tester C)が滑脈(A:HUA mai), 平脈(B:PIWG mai)および、弦脈(C:XIAN mai)の3群に分別した橈骨動脈圧波形の各群における ΔBP_P および、 ΔBP_D の関係を示したものである。図8(a)はTester Aの結果で、滑脈(A:HUA mai)に36例を分別し、この群の ΔBP_P および、 ΔBP_D の平均値と標準偏差は 35.9 ± 7.0 mmHg, 9.7 ± 4.3 mmHgであり、平脈(B:PIWG mai)に11例を分別し、この群の ΔBP_P および、 ΔBP_D の平均値と標準偏差は 26.0 ± 4.5 mmHg, 3.4 ± 1.5 mmHgであり、弦脈(C:XIAN mai)に10例を分別し、この群の ΔBP_P および、 ΔBP_D の平均値と標準偏差は 20.5 ± 4.6 mmHg, 2.6 ± 1.5 mmHgである。図8(b)はTester Bの結果で、滑脈(A:HUA mai)に35例を分別し、この群の ΔBP_P および、 ΔBP_D の平均値と標準偏差は 35.3 ± 5.9 mmHg, 9.2 ± 3.5 mmHgであり、平脈(B:PIWG mai)に4例を分別し、この群の ΔBP_P および、 ΔBP_D の平均値と標準偏差は 24.1 ± 2.9 mmHg, 2.6 ± 1.4 mmHgであり、弦脈(C:XIAN mai)に10例を分別し、この群の ΔBP_P および、 ΔBP_D の平均値と標準偏差は 20.8 ± 3.4 mmHg, 2.3 ± 1.3 mmHgである。図8(c)はTester Cの結果で、滑脈(A:HUA mai)に18例を分別し、この群の ΔBP_P および、 ΔBP_D の平均値と標準偏差は 39.6 ± 7.1 mmHg, 12.0 ± 4.6 mmHgであり、平脈(B:PIWG mai)に23例を分別し、この群の ΔBP_P および、 ΔBP_D の平均値と標準偏差は 31.6 ± 4.4 mmHg, 6.5 ± 1.8 mmHgであり、弦脈(C:XIAN mai)に14例を分別し、この群の ΔBP_P および、 ΔBP_D の平均値と標準偏差は 22.5 ± 2.3 mmHg, 2.1 ± 1.1 mmHgである。前記3名の3群への分別に対して、 ΔBP_P および、 ΔBP_D の一元配置分散分析をおこなった。その結果、3名がおこなう脈波波形の分別は、橈骨動脈圧波形のローカリティに注目した ΔBP_P , ΔBP_D により、滑脈(A:HUA mai)と平脈(B:PIWG mai)および、滑脈(A:HUA)と弦脈(C:XIAN mai)については3名共に、また、平脈(B:PIWG)と弦脈(C:XIAN mai)については1名について1%水準で有意差が得られる結果で分布することがわかる。ここで、中医医師2名(Tester A, Tester B)が平脈(B:PIWG mai)と、弦脈(C:XIAN mai)に分別した橈骨動脈圧波形の各群における ΔBP_P , ΔBP_D に有意差が得られない検定結果となったのは、今回の

80例の橈骨動脈圧波形は、22歳から46歳の健常成人80名によるものであるため、典型的な弦脈(C:XIAN mai)となる高齢者の橈骨動脈圧波形が少ないためとの所見であった。また、Tester Cが平脈(B:PIWG mai)と、弦脈(C:XIAN mai)に分別した橈骨動脈圧波形の各群における ΔBP_P , ΔBP_D に1%水準で有意差が得られる検定結果となったのは、中医医師2名に比べ ΔBP_P , ΔBP_D が大きい橈骨動脈圧波形を平脈(B:PIWG mai)に分別していることがわかる。

図8 形状分別した橈骨動脈圧波形の ΔBP_P と ΔBP_D の関係
Fig.8. Relationship between classification among HUA mai, PIWG mai, XIAN mai and ΔBP_D , ΔBP_P .

5. おわりに

以上、橈骨動脈圧波形の ejection wave のピークと dicrotic notch との振幅差(ΔBP_P)および、dicrotic notch と dicrotic wave のピークとの振幅差(ΔBP_D)による脈波波形の形状分類をおこない、東洋医学の脈診のエキスパート3名による橈骨動脈圧波形の視覚的な分別に基づいた分類法との比較をおこない、その検討した。

その結果、橈骨動脈圧波形の ΔBP_P , ΔBP_D により、滑脈(A:HUA mai)と平脈(B:PIWG mai)および、滑脈(A:HUA mai)と

弦脈(C:XIAN mai)については3名共に1%水準で有意差ありとなる再現性を確認した。また、平脈(B:PIWG mai)と弦脈(C:XIAN mai)については、日本の医師1名が平脈に分別した動脈圧波形の ΔBP_p , ΔBP_0 が中医医師2名と比べ大きいため、日本の医師1名について、1%水準で有意差ありとなることを明らかにした。これより、3名の異なる脈波波形の分別基準に対し、橈骨動脈圧波形のejection waveのピークとdicrotic notchとの振幅差(ΔBP_p)および、dicrotic notchとdicrotic waveのピークとの振幅差(ΔBP_0)により形状分類を機械化できる見通しを得た。なお、本報告での橈骨動脈圧波形の局所的な時間変化による3名の分別に対する分類結果は、既報において1名(Tester C)の分別に対する周波数解析から算出したひずみ率で脈波形状の違いを分類した結果の滑脈(A:HUA)と平脈(B:PIWG)が5%水準で有意差ありであったのに対し、有意差を1%水準へ向上できた。今後さらに、エキスパートの指先の脈波形状に関する知識による、より詳しい分別や疾患との対応を取るように発展させていくためには、周波数解析だけではなく、これらエキスパートの知識表現法により親和性があると考えられる視覚化した橈骨動脈圧波形のローカリティに注目した形状分類法が良いと考える。

最後に、本研究を進めるにあたり実験に協力いただいた上海中医薬大学中医診断研究室の費兆馥教授、徐建国副教授、許家侗講師、湯偉昌副研究員に感謝の意を表す。なお、本研究の一部は、平成10年度東京電機大学ハイテク・リサーチ・センター研究費によりおこなわれた。

(平成11年04月23日受付, 平成12年03月16日再受付)

文献

- (1) 神戸中医学研究会: 中医臨床のための舌診と脈診, 59~110 (1989)
- (2) 費兆馥(主編): 中国脈診研究, 上海中医学院出版社 (1991)
- (3) 森和: 鍼灸医学への科学的アプローチ, 日本東洋医学雑誌, 45, 4, 791~809 (1995)
- (4) 依田文彦: 鍼灸研究の一面, 日本東洋医学雑誌, 46, 3, 371~382 (1995)
- (5) 森和・矢野忠・芹沢勝助: 切診の客観化, 日本東洋医学雑誌, 27, 4, 7~16 (1977)
- (6) 小林詔司・森和: SD法を応用した脈診の構造分析(第一報), 日本東洋医学雑誌, 33, 4, 17~27 (1983)
- (7) 石山仁・笠原宏: 触覚検出型脈波計, 日本東洋医学雑誌, 41, 1, 41~46 (1990)
- (8) 高島充・長屋健・菊名剛・松多邦雄: 東洋医学脈診法の機械化, 日本東洋医学雑誌, 47, 4, 635~643 (1997)
- (9) 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, 1, 115~121 (1994)
- (10) 費兆馥: 脈診研究の概要(上), 東洋医学, 19, 2,

115~120 (1991)

- (11) 費兆馥: 脈診研究の概要(下), 東洋医学, 19, 3, 53~58 (1991)
- (12) Wilmer W. Nichols, Michael F. O'Rourke: "McDonald's Blood Flow in Arteries Fourth Edition", Edward Arnold (1998)
- (13) O'Rourke, M.F., Kelly, R.P., Avolio, A.P.: The arterial pulse, Lea and Febiger, Philadelphia, London (1992)
- (14) Chen C.H., Nevo E., Fetics B., Pak P.H., Yin F.C.P., Maughan W.L. and Kass D.A.: Estimation of central aortic pressure waveform by mathematics transformation of radial tonometry pressure - validation of generalized transfer function, Circulation, 95, 1827/1836 (1997)
- (15) 天野和彦・葛西位至・石山仁・笠原宏・上馬場和夫, 許鳳浩: 橈骨動脈における圧脈波波形の解析, 平成9年電気関係関西連合支部大会講演論文集, No. G45
- (16) 葛西位至・天野和彦・石山仁・笠原宏・上馬場和夫, 橈骨動脈における圧脈波波形の解析II, 1998年電子情報通信学会総大会講演論文集, No. D-7-18
- (17) 天野和彦・葛西位至・石山仁・笠原宏・上馬場和夫: ウェーブレット変換を用いた橈骨動脈圧波形の時間周波数解析, 第36回日本ME学会大会論文集, No. 3I1-2 (1998)
- (18) 天野和彦・石山仁・笠原宏・上馬場和夫: 橈骨動脈圧波形の時間周波数解析と東洋医学の脈診法との対応, 電子情報通信学会技術研究報告, 98, 56, 101~106 (1998-7)
- (19) 天野和彦・石山仁・笠原宏・上馬場和夫: 触覚センサシステムを用いた橈骨動脈圧波形の時間周波数解析による脈波形状の分類法, 計測自動制御学会, 第13回生体・生理工学シンポジウム論文集, BPS'98, 369~372 (1998-9)
- (20) 天野和彦・石山仁・笠原宏・上馬場和夫・高沢謙二: 橈骨動脈圧波形のローカリティによる血管年齢の評価法, 電子情報通信学会技術研究報告, 100, 190, 67~72 (2000-7)
- (21) 天野和彦・石山仁・笠原宏・上馬場和夫・高沢謙二: 橈骨動脈圧波形のローカリティによる血管硬化度の評価法とその検討, 電気学会論文誌 C, 120-C, 10, 1492~1499 (2000-10)
- (22) 石山仁, 笠原宏, 児玉和夫, 許鳳浩, 天野和彦, 石井弘允: 歪率による脈波形状の定量化法, 日本東洋医学雑誌, 46, 2, 243~249 (1995)
- (23) 伊福部達・湊博・吉本千禎: 心理物理実験によるタクトイル・ボコーダーの基礎的研究, 日本音響学会誌, 31, 3, 170~178 (1975)
- (24) 伊藤正男: 感覚と神経系, 現代生物科学, 岩波書店 (1974)
- (25) 稲永和豊・大熊輝雄(編): 神経生理学(II), 中山書店 (1977)
- (26) 天野和彦・石山仁・笠原宏・上馬場和夫: 橈骨動脈圧波形のローカリティによる形状分類法, 電子情報通信学会技術研究報告, 99, 51, 99~106 (1999-7)
- (27) 天野和彦・石山仁・笠原宏・上馬場和夫: 橈骨動脈圧波形の局在する振幅変化による形状分類法, 計測自動制

御学会, 第 14 回生体・生理工学シンポジウム論文
集,BPS'99,213~216 (1999-10)

(28)天野 和彦・葛西 位至・石山 仁・笠原 宏・上馬場 和
夫:脈診教育用模型を用いた触覚センサの機能評価の試み,
平成 10 年電気学会全国大会論文集,No.677

(29)天野 和彦・石山 仁・笠原 宏・上馬場 和夫:触覚によ
る脈波形状の分別能力の検討, 平成 11 年電気学会全国大
会論文集,No.675

(30)天野 和彦・石山 仁・笠原 宏・上馬場 和夫・許 鳳浩:
循環動態の無侵襲的測定のための橈骨動脈周辺組織の可
視化, 電子情報通信学会技術研究報告,97,215,79~84
(1997)

(31)天野 和彦・石山 仁・笠原 宏・上馬場 和夫:超音波画
像法を応用した脈診時における橈骨動脈周辺組織の変位量
の定量化とその検討, 電気学会論文誌 C,118-C,7/8,1007~
1015 (1998-7)

(32)天野 和彦・石山 仁・笠原 宏・上馬場 和夫・許 鳳浩:
橈骨動脈による循環動態の無侵襲的測定, 平成9年電気学
会全国大会論文集, No.750

天野 和彦 (正員) 1958 年 9 月 4 日生まれ。81 年 3 月

日本大学理工学部電気工学科卒業。83 年 3 月
同大学大学院理工学研究科博士前期課程
電気専攻修了。同年(株)諏訪精工舎入社。
92 年 10 月~96 年 9 月日本大学理工学部理工
学研究所研究生, 96 年 10 月~00 年 3 月
東京電機大学工学部研究員を経て現在,
セイコーエプソン株式会社基盤技術研究所
研究員。計測工学, 医用電子工学の研究に
従事。電子情報通信学会, 計測自動制御学会,
日本 ME 学会, 日本東洋医学会,
日本自律神経学会員。

石山 仁 (正員) 1956 年 7 月 25 日生まれ。78 年 3 月

東京電機大学電気工学科卒業。同大学助手を
経て現在, 同大学電気工学科講師。
医用電子工学, 計算機制御の研究に従事。
日本 ME 学会, 日本東洋医学会員。

笠原 宏 (正員) 1940 年 4 月 12 日生まれ。64 年 3 月

東京電機大学電気工学科卒業。70 年同大
学博士課程満期退学。同大学助手, 講師,
助教授を経て現在, 同大学電気工学科
教授。工学博士。オブジェクト指向システム
設計法, 医用電子工学の研究に従事。
IEEE, ACM, 日本東洋医学会。

上馬場 和夫(非会員)1953 年 2 月 6 日生まれ。78 年 3 月

広島大学医学部医学科卒業。虎の門病院
内科勤務, 北里研究所付属東洋医学総合研
究所, 同研究所バイオイアトリックセンター
医学管理室長を経て現在, 富山県国際健康
プラザ国際伝統医学センター次長。医学博士。
東洋医学と西洋医学の融合に関する研究に
従事。自律神経学会, 臨床薬理学会, 日本東洋
医学会員。