

【原 著】

オシロメトリック式自動血圧計における拡張期血圧の検討

山本 美紀* 岩元 純**

【要 旨】

本研究の目的は、オシロメトリック式自動血圧計（以下自動血圧計）と水銀血圧計による拡張期血圧の較差が生じる要因を、自動血圧計の測定アルゴリズムから検討し、その特徴と発生のメカニズムを明らかにすることである。健康な若年被験者（n=50）の上腕にカフを巻き、このカフからのゴム管を分岐させて自動血圧計（HEM-7471C、オムロン社）と水銀血圧計に接続した。血圧測定は、自動血圧計による測定を行いつつ、熟練した2人の看護師による水銀血圧計を用いた同側同時測定を行った。また、コンピュータによるデータ収録・解析システムを用い、自動血圧計の測定項目である圧波形と振動波形（オシレーション）を同時に記録した。結果、二つの測定方法による拡張期血圧の較差は、平均 4.5 ± 5.2 mmHg であったが、較差が ± 5 mmHg を越える測定が約 40% にみられた。較差の大きい測定のオシレーションを解析したところ、血圧判定の装置のアルゴリズムから、聴診法での第4点を拡張期血圧と判定し、これが較差の要因となる可能性が示唆された。したがって自動血圧計を用いた測定では、装置のアルゴリズムから拡張期血圧を高めめに測定する場合があります、看護師の聴診法による再測定などの介入が必要である。

【キーワード】 オシロメトリック式自動血圧計、拡張期血圧、家庭血圧、アルゴリズム

I. はじめに

オシロメトリック式自動血圧計は、単純な構造であることからトラブルも少なく、安価であるため、今日では家庭血圧測定装置の主流を占めている。さらには、信頼性の高い装置が増えたことや水銀の取り扱いの問題から、医療機関においても水銀血圧計による聴診法からオシロメトリック法に変換されてきている。

オシロメトリック法（圧脈波振動法）は、間接的血圧測定法の一つで、カフ（腕帯）で動脈を圧迫した後、徐々に減圧する過程で血圧を測定する方法である。微小振動の検出や血圧値の解析などがコンピュータで行えるようになったことから、聴診法に代わって普及しているが、装置によって精度が異なることや、測定方法によっては誤差を生じることも少なくない。自動血圧計の精度についての研究は、聴診法との平均値の比較や較差の許容範囲、血圧値の

相関から評価したものが多く¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。特に拡張期血圧については、測定根拠の不明瞭さ⁴⁾や機器としてのアルゴリズムの問題⁵⁾⁶⁾⁷⁾が指摘されているが、医療者側からの具体的な検討は十分ではないといわれている⁵⁾。したがって、拡張期血圧の誤差を生じるメカニズムやどこにその原因があるのかについてはあまり明らかにされていない。

医療機器メーカーはより精度の高い装置の開発・研究のために精度評価を行っている。しかし、医療メーカーが行う精度確認は臨床応用に耐えうるかの確認であり、ある個体においてその装置が適性に血圧を測定しているかの確認とは別の意味を持つ。さらに家庭血圧計（オシロメトリック式自動血圧計）の校正は、従来の聴診法との比較によって行われる以上、聴診法での血圧測定に熟練した測定者の存在が不可欠である。このような意味で家庭血圧計の精度管理は、メーカー側と医療サイドの協力のもとに行われるべきである。

* 日本赤十字北海道看護大学基礎看護学領域 ** 旭川医科大学医学部看護学科（応用生理）

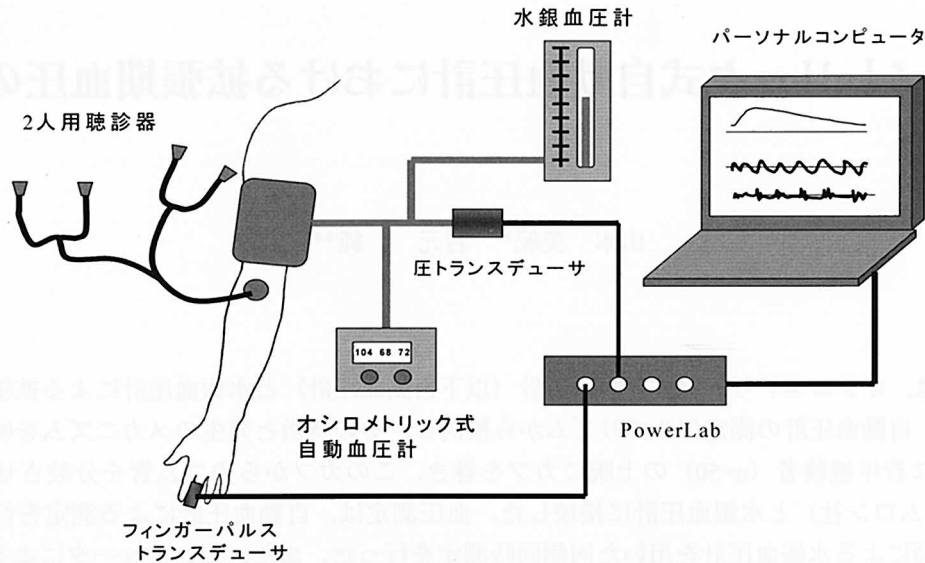


図1 測定方法

オシロメトリック法と聴診法との血圧較差については、以前我々は拡張期圧較差の要因を生体が持つパラメーターの点から報告した⁸⁾。今回は、オシロメトリック式自動血圧計と水銀血圧計による拡張期血圧の較差が生じる要因を、自動血圧計の測定アルゴリズムから検討し、その特徴と発生のメカニズムを分析・考察したので報告する。

II. 研究方法

1. 対象者

循環器系に障害のない18～28歳の健康な男女56名（女性37名、男性19名）

2. 測定方法

1) 血圧測定の方法

血圧測定は、外部からの騒音のない部屋で行い、室温は20～26℃、湿度は55～65%内で実施した。なお、被験者には食事後1時間以上経過し、排尿を済ませ、運動直後ではない状態で、上腕を圧迫しない服装にて、測定場所へ入室するよう事前に説明を行った。

血圧測定の方法については、日本循環器協会血圧小委員会⁹⁾に準じて椅坐位で5分間の安静を保った後、右上腕に自動血圧計用カフ（幅14cm×長さ48cm）をぴったりと巻き血圧測定を行った。聴診法においては、コロトコフ音第1点を収縮期血圧、第5点を拡張期血圧とした。ただし、水銀を落とす速度は、自動血圧計の設定速度とした。

さらに、AHA（米国心臓病協会）の指針¹⁰⁾に従い、測定時は、椅子の背もたれによりかかり両足底を床につける姿勢とした。1分間の間隔をおき4回測定を行った。聴診法による血圧測定は、血圧測定の実験が豊富な2人の看護職の聴診者によって、2人用聴診器を使用して行った。測定値の信頼性は事前に10名の被験者に対し2人用聴診器を使用して得られた血圧値の相関を調べて確認した。測定中は、2人の聴診者からは自動血圧計の計測値が見えないようにし、また、2人の聴診者はお互いの計測値が確認できない環境下で測定を行った。2人の値が5mmHg以上異なっているときは、データから除外した。

2) 測定に使用した機器と測定システム

オシロメトリック式自動血圧計は、家庭血圧計として日本での販売台数の多いタイプであるオムロン社のHEM-747ICを使用した。聴診法の水銀血圧計は、ケンツメディコ株式会社製600MYを使用し、聴診法に使用した聴診器は、Kamed（ポーランド製）の2人用聴診器（膜型）を使用した。オシロメトリック法による血圧判定を客観的に確認するため、AD Instruments JapanのPowerLab（データ収録・解析システム）を使用した。

測定は、自動血圧計と水銀血圧計をゴム管で接続し、右上腕カフによる聴診法とオシロメトリック法の同側同時で行った。さらに、圧トランスデューサと接続（約20cm）することによって、PowerLabにより自動血圧計の圧波形と振動波形（圧波形の微分信号）を記録した（図1）。このシステム

PowerLab データ波形

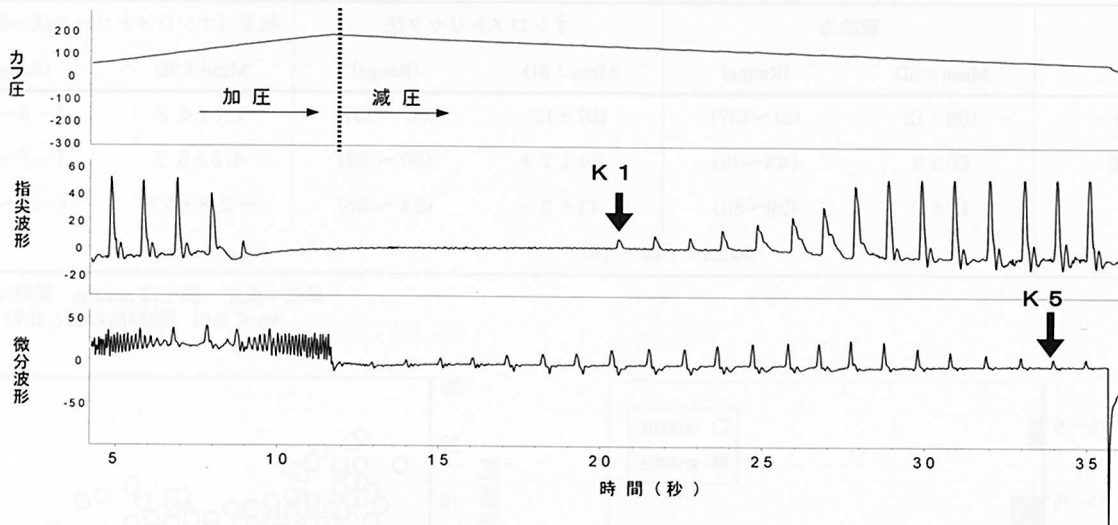


図2 PowerLabによるデータ集録の例

によって、本来知ることのできない自動血圧計の測定内容である圧とオシレーション（振幅）信号の2つが、外部から客観的に記録することが可能となり、オシロメトリック式自動血圧計のアルゴリズムに対する検討が行えるようになった（図2）。

3. 分析方法

血圧の測定値は、4回測定した値のうち2回目、3回目、4回目の測定値を分析の対象とした。聴診法による血圧値は検者Aと検者Bの測定値を平均した。オシロメトリック法と聴診法の血圧値の記載は、平均±標準偏差で表示し、5%の有意水準を用いて検定した。変数間の関係を調べるには回帰・相関分析を行った。統計処理にはSPSS10.0JおよびStatView5.0を使用した。

自動血圧計の測定アルゴリズムは、オシロメトリック式自動血圧計の血圧値判定には、カフの減圧によって形成される脈波振幅が急激に増大する点を収縮期血圧、最大となる点を平均血圧、急激に減少する点を拡張期血圧とする装置が多い¹¹⁾。今回使用した装置もこの方法を採用しているとした上で、拡張期血圧判定のパターンをPowerLabから得られた振幅の微分波形をもとに分析した。カフの減圧とともに減少する脈波振幅を拍動毎に積分し、その%振動積分値（各拍動によって生じる振動の大きさを定量化したものを振幅の最大点を100とし、百分率であらわしたものを）をPowerLabを用いて算出した。また、1拍動毎の直前の振動からの減衰比も計算した。

4. 倫理的配慮

被験者へは、事前に研究の目的、測定方法について書面および口頭にて説明した。研究協力は自由意思であり、途中、協力の拒否が可能であること、得られたデータは研究以外に使用しないことを伝え、同意を得た上で測定を行った。

Ⅲ. 結 果

1. 被験者の特徴

被験者56名のうち、血圧測定値が聴診者間で±5mmHg以上あり、また指先の冷感が強く血圧測定中の容量脈拍変化の観察が困難だった被験者6名を分析から除外した。分析対象となった被験者は50名で、男性16名、女性34名であった。年齢は22±2歳、身長は163.2±9.1cm、体重は58.6±11.7kg、上腕周囲長は26.6±3.4cmであった（表1）。

表1 対象者の特徴 (n = 50)

性別	
男性 (人)	16
女性 (人)	34
年齢 (歳)	22±2
身長 (cm)	163.2±9.1
体重 (kg)	58.6±11.7
上腕周囲長 (cm)	26.6±3.4

Mean±SD

表2 血圧と較差

(150測定)

	聴診方		オシロメトリック法		較差 (オシロメトリック法-聴診法)	
	Mean±SD	(Range)	Mean±SD	(Range)	Mean±SD	(Range)
収縮期血圧	106±12	(81~137)	107±12	(80~137)	1.7±4.2	(-8~16)
拡張期血圧	60±9	(43~86)	64±7*	(50~89)	4.5±5.2	(-7~20)
脈圧	46±11	(29~80)	43±9	(24~66)	-2.8±6.8	(-22~17)
脈拍	69±10 (45~101)					

単位：血圧・脈圧は mmHg, 脈拍は回/分
*p<0.01 (聴診法の値と比較した時)

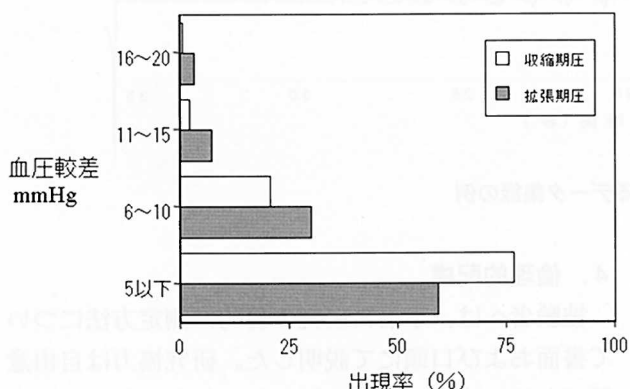


図3 収縮期圧較差と拡張期圧較差の出現率

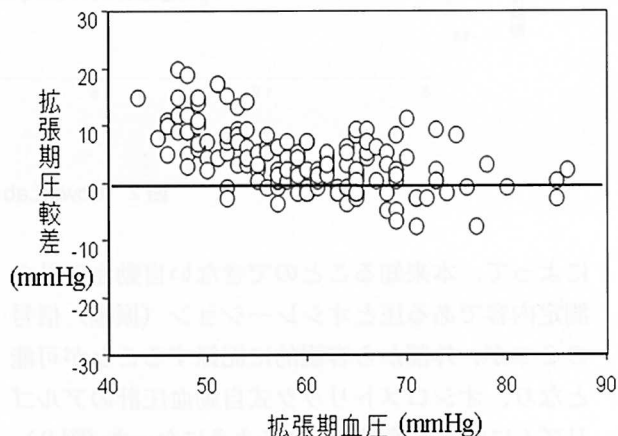


図4 拡張期圧の較差の散布図

2. オシロメトリック法と聴診法による血圧値の較差

オシロメトリック法での測定値と、基準とする聴診法での水銀血圧計による測定値を比較した結果を表2に示した。拡張期血圧の2群間にも有意差が認められた (p<0.01)。また、オシロメトリック法による測定値から聴診法による測定値を引いた値の差 (以下較差と略す) を求めると、収縮期血圧較差は $1.7 \pm 4.2 \text{ mmHg}$ (mean±SD) であり、拡張期血圧較差は $4.5 \pm 5.2 \text{ mmHg}$ であった (表2)。

較差の程度による出現率は、収縮期血圧では $\pm 5 \text{ mmHg}$ 以下の較差が全体の約80%を占めていた。しかし、拡張期血圧では、 $\pm 5 \text{ mmHg}$ 以下が全体の約60%にすぎず、較差が $\pm 5 \text{ mmHg}$ 以上が約40%を占めていた (図3)。さらに、拡張期血圧では較差はほぼ正であり (オシロメトリック法の値が聴診法よりも高い)、この傾向は、拡張期血圧値が低くなるにつれて増大していた (図4)。

3. オシレーションの変化

オシロメトリック式自動血圧計の測定アルゴリズムは、オシレーションの変化によって判定される。

今回実施したオシロメトリック法と聴診法の拡張期圧較差が 0 mmHg 、つまり測定値が一致した時の減衰比のヒストグラムは、図5に示すようであった。測定値の1拍動前との減衰の比率は、平均 0.66 ± 0.06 であった。これは、この装置の拡張期血圧判定は、減衰率が直前の振動から約35%下がるとその拍動点を拡張期血圧と判定するというを示している。さらに、拡張期圧較差が大きい場合の減衰のパターンを知るため、一致した場合のパターンと比較した (図6)。この図からは、較差が 0 mmHg つまり測定値が一致した時は、先に述べたように、減衰経過の中で減衰比が 0.60 の拍動を自動血圧計は拡張期血圧と判定し、その値が聴診法と一致していることを示している (図6-A)。しかし、拡張期圧較差が大きい場合は、 0.6 前後の減衰比がいくつか出現する中で、オシロメトリック法では最初の 0.69 の減衰比の拍動を拡張期血圧と判定し、聴診法ではその後に出現した 0.56 の減衰比の拍動でコロトコフ音が消失し拡張期血圧と判断していたため、この差が較差として生じた (図6-B)。さらにこれは、聴診法が第4点、第5点を聞き取ることと関係しているのではないかと推測し、聴診法で第4点、第5点

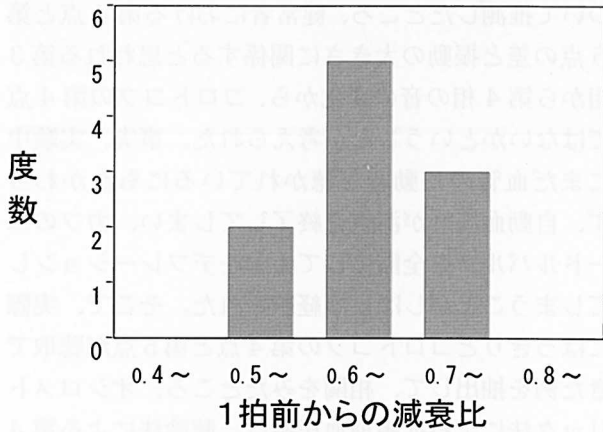


図5 1拍前からの減衰比のヒストグラム

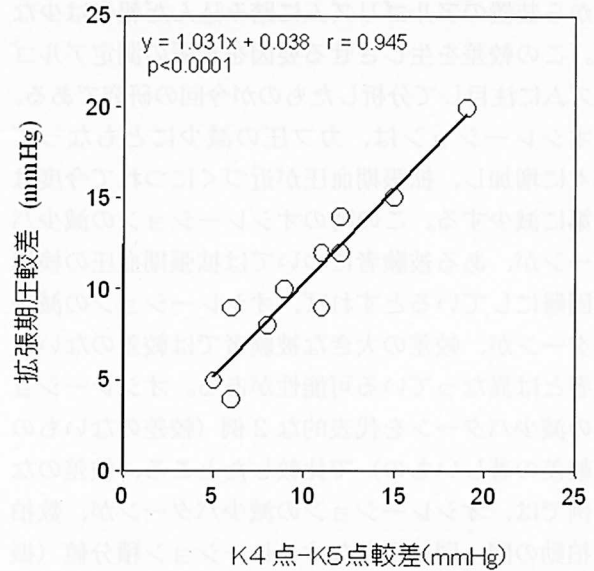


図7 拡張期圧較差とコロトコフ第4点第5点較差の関係

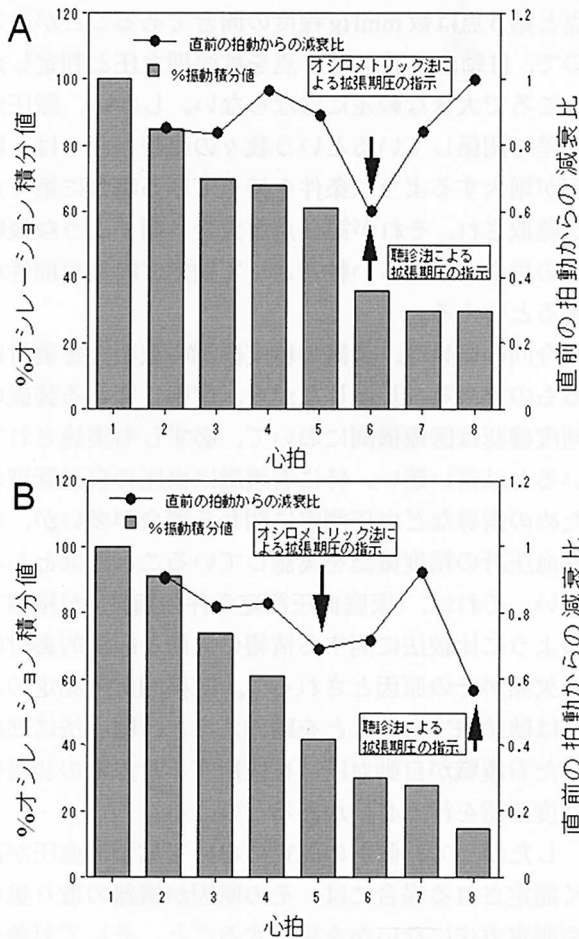


図6 オシレーションの%積分値と1拍前からの減衰比

が聴診できた11測定について、オシロメトリック法と聴診法の拡張期圧較差と、聴診法における第4点と第5点の差の相関を調べた。図7から明らかなように、これらの間にはかなり高い相関が認められた ($r=0.95$, $p<0.0001$)。これは、オシロメトリック法の拡張期血圧は聴診法の第4点とほぼ同じであることを示している。

IV. 考 察

オシロメトリック式自動血圧計は、家庭血圧装置として多く使用されており「家庭血圧測定条件の指針」においても、聴診法で裏付けを得たカフオシロメトリック法に基づく上腕カフ血圧計を用いることを推奨している¹²⁾。

今回、水銀血圧計を使用した聴診法を基準として、オシロメトリック式自動血圧計を用いた測定による拡張期血圧を検討した結果、拡張期血圧較差は平均 4.5 ± 5.2 mmHg であった。これは自動血圧計など測定装置の誤差許容範囲を定めた米国のガイドライン Association for the Advancement of Medical Instrumentation (以下 AAMI) SP-10-1992 の基準¹³⁾ (1992) である測定全体で、平均値が 5 mmHg 以下、標準偏差が 8 mmHg 以下の条件を満たしていた。しかし、今回の結果からは、拡張期圧較差が ± 5 mmHg 以上が全体の約 40% を占めていた。「家庭血圧測定条件の指針」¹¹⁾ によると、「ある個体と装置の適合性は聴診との較差が 5 mmHg 以内であることを必要とする」という指針を明示しており、今回の結果は、ある個体にとってその人の血圧値を適切に測定している装置とは評価できない測定が存在することを示している。

血圧値の較差については、個別測定におけるカフの巻き方やカフ幅、腕の位置、カフの減圧速度、上腕周囲長といった点¹⁵⁾¹⁶⁾ については以前から指摘されている。しかし、較差の起こる要因について医療

側から装置のアルゴリズムに踏み込んだ報告は少ない。この較差を生じさせる要因を装置の測定アルゴリズムに注目して分析したものが今回の研究である。

オシレーションは、カフ圧の減少にともなって徐々に増加し、拡張期血圧が近づくにつれて今度は次第に減少する。この時のオシレーションの減少パターンが、ある被験者については拡張期血圧の検出を困難にしているとすれば、オシレーションの減少パターンが、較差の大きな被験者では較差のない被験者とは異なっている可能性がある。オシレーションの減少パターンを代表的な2例（較差のないものと較差の著しいもの）で比較したところ、較差のない例では、オシレーションの減少パターンが、数拍の拍動の間、同じようなオシレーション積分値（振動の大きさ）を示した後、次の拍動では振動積分値が急に低下していくという非連続的な変化を示していた。しかし、較差の著しい例ではオシレーション積分値の減少パターンが連続的であり、急激なオシレーションの低下が起こっていなかった。したがって、オシレーションの減少パターンの違いは較差を生む原因のひとつであると考えられた。このように考えると、装置における拡張期血圧判定のアルゴリズムも考慮する必要が生じる。今回使用したオシロメトリック式自動血圧計オムロン HEM-747IC の拡張期血圧判定は、振動による微分波形の減衰が、1拍動前より約35%程度減衰する（前値の65%程度の値に下がる）ようなカフのオシレーションを検知した時を拡張期血圧と判定していると推測された。このような判定基準にかかわる機器のアルゴリズムが明らかに存在するのであるならば、この検知のための閾値を若干変更することで、較差を減少させることが可能かもしれない。しかし、逆にその変更のために、今より多くの較差を生じる危険性もある。したがって、場合によっては、このアルゴリズムに立ち入ることが血圧計の精度管理を行なう上で重要になることも予想されるので、メーカー側の協力が不可欠であると考えられる。

自動血圧計で測定された拡張期血圧値が、ある被験者においては聴診法による拡張期血圧より「やや高め」の値を示すことがあり、しかも、そのときは、オシレーション自体は明らかに減少していることも確認された。すなわち、自動血圧計は、われわれの耳よりも何拍か早めに振動（オシレーション）の減少を検知していたということである。この自動血圧計が早めに検知した「やや高め」の血圧とは何かに

ついて推測したところ、健常者における第4点と第5点の差と振動の大きさに関係すると思われる第3相から第4相の音の変化から、コロトコフの第4点ではないかということが考えられた。事実、実験中にまだ血管の拍動音が聴かれているにもかかわらず、自動血圧計が測定を終了してしまい、カフのニードルバルブを全開にしてカフをデフレーションしてしまうことがしばしば経験された。そこで、実際にはっきりとコロトコフの第4点と第5点が聴取できた例を抽出して、相関をみたところ、オシロメトリック法による拡張期血圧値は、聴診法による第4点とほぼ同じであることが明らかとなった。第4点が聴取されるのは健常者に多く、この場合には第4点と第5点は数mmHg程度の開きであることが多いので、自動血圧計が第4点を拡張期血圧と判定したところで大きな較差にはならない。しかし、脈圧が較差に関係しているという我々の報告⁸⁾からは、脈圧が増大するような条件を持っている場合に第4点が聴取され、それが第5点と大きく開くような被験者の場合には著しい較差として検知される可能性があるといえる。

今回の結果は、装置の精度確認の重要性を裏付けるものである。しかしながら、使用している装置の精度確認は医療機関において、必ずしも実施されているとは言い難い。特に看護職は血圧の自己管理のための指導など血圧測定に関わる機会が多いが、家庭血圧計の精度確認を実施していることはほとんどない。それは、「家庭血圧測定条件の指針」が指摘するように比較法に関する情報の欠如と経済的裏付けの欠如がその原因とされる¹⁷⁾。間接的血圧測定の基準は聴診法であることを踏まえると、聴診法に熟練した看護職が自動血圧計を使用する対象者の装置の精度確認を行う必要があるといえる。

したがって、個別の測定において拡張期血圧が高く測定される場合には、その原因が機器の取り扱いや測定方法にないかを確認すること、そして対象者の条件と今回のような機器の測定上の特徴を知った上で聴診法での再測定を行い、より正確な血圧値を得ることが必要である。また、家庭血圧計の使用にあたっては看護職が正しい測定方法を指導し、聴診法と比較した装置の精度確認を適宜行っていくことが望まれる。

今後は、健康管理や高血圧における血圧管理として自動血圧計を使用することの多い年齢層を対象に、聴診法との較差を検討していくことが必要である。

V. 結 語

オシロメトリック式自動血圧計は、聴診法と比較して拡張期圧較差が $\pm 5\text{mmHg}$ 以上の測定が約40%にみられ、聴診法よりやや高めに測定されるものがあった。較差を起こす要因を装置のアルゴリズムから分析した結果、オシロメトリック法は聴診法での第4点を拡張期血圧と判定し、これが較差の要因となる可能性があることが推測された。

家庭血圧計としてオシロメトリック式自動血圧計を使用する場合は、看護者は聴診法を基準とした正しい測定方法を指導し、聴診法と比較した精度確認を随時行う必要があることが示唆された。

なお本研究の一部は、日本看護技術学会第3回学術集会にて発表いたしました。

VI. 引用文献

- 1) Foster, C., Mckinlay, S., Cruickshank, J.M., et al: Accuracy of the Omuron HEM 706 portable monitor for home measurement of blood pressure, *Journal of Human Hypertention*, 8 (9) ; 661-664. 1994.
- 2) Rogers.P, Burke.V, Stroud. P, Puddy. I:Comparison of oscillometric blood pressure measurement at the wrist with an upper-arm auscultatory mercury sphygmomanometer, *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 26, 477-481. 1999.
- 3) 松岡 治, 高沢謙二, 山科 章:オシロメトリック自動血圧計と聴診法による測定血圧値の比較検討, *日本臨床生理学会雑誌*, 31 (3) ; 137-143. 2001.
- 4) 岩田次郎, 齊藤俊弘, 稲垣義明:各種血圧測定法の比較, *日本臨床*, 50 ; 157-161, 1992.
- 5) 今井 潤, 阿部圭志:家庭血圧測定の問題点, *日本臨床*, 50 ; 163-173, 1992.
- 6) 河邊博史, 齊藤郁夫:家庭血圧測定とその問題点, *日本臨床*, 58 ; 252-257, 2000.
- 7) Anwar,Y.A.,Giacco,S.,McCabe,E.J.,et al:Evaluation of the efficacy of the Omron HEM-737 Intellisense device for use on adults according to the recommendations of the Association for the Advancement of Medical Instrumentation, *Blood Pressure Monitoring*, 3 (4) ; 261-265. 1998.
- 8) 山本美紀, 岩元 純:オシロメトリック式自動血圧計と水銀血圧計を使用した血圧測定における較差に関する研究, *日本看護技術学会誌*, Vol.7 No.1, 59-67, 2008.
- 9) 日本循環器協会血圧小委員会:血圧測定の手技に関する研究, *日本循環器管理協議会誌*, 15 (2) ; 33-34. 1980.
- 10) Perloff, D., Grim, C., Flack, J., at al: Human Blood Pressure Determination by Sphygmomanometry, *Circulation*, 88 (5) ; 2460-2470, 1993
- 11) 日本高血圧学会:家庭血圧測定条件設定の指針, 26, ライフサイエンス出版, 2003.
- 12) 前掲書¹¹⁾ 8.
- 13) Association for the Advancement of Medical Instrumentation. American national standard for electronic automated sphygmomanometers. Second edition. Arlington, Virginia:AAMI, 1992.
- 14) 前掲書¹¹⁾ 12.
- 15) 栃久保 修:血圧の測定法と臨床評価 第3版, 株式会社メディカルトリビューン, 35-43, 1991.
- 16) 横関明弘:オシロメトリック法による血圧の間接的測定, *Clinical Engineering*, 11 (12) ; 1000-1005, 2000.
- 17) 前掲書¹¹⁾, 12.

A Close Examination of the diastolic pressure measured by oscillometric sphygmomanometer

Miki Yamamoto *, Jun Iwamoto**

* The Japanese Red Cross Hokkaido College of Nursing

** Asahikawa Medical College

[Abstract]

This study was aimed to trace the cause of overestimation with special regard to the measurement algorithm of OS. Fifty healthy young volunteers ($22 \pm 2y$) were subjected to this study. They outfitted a cuff on the upper arm from which a tube is connected to MS, OS (HEM-747IC, Omron) and a pressure transducer for simultaneous ipsilateral measurement. When measurement was performed, the cuff was inflated by a pump of OS while auscultatory measurement was performed by two skilled nurses during deflation. The cuff pressure along with oscillation waveform was continuously measured with a pressure transducer and the data was collected via a data acquisition system (Powerlab, ADInstrument). The average diastolic pressure difference between OS and MS was 4.5 ± 5.2 mmHg. A 40% of total measurements turned out to be overestimation more than ± 5 mmHg. Examination of the oscillation waveforms revealed that an abrupt shrink of oscillation occurred mostly one beat before the Korotkoff fifth sound (i.e. the fourth Korotkoff sound), suggesting the greater diastolic pressure registered by OS originated at the point. Probably, the detection of the fifth Korotkoff sound for OS is achieved by an internal algorithm. Thus, it is likely that the algorithm may be influenced by various measurement conditions including stroke volume, total peripheral resistance. These findings suggest that users of OS should be aware of the tendency for such devices to register greater diastolic pressures, and should have their blood pressures rechecked by skilled nurses when in doubt of the values measured.