

原 著

トノメトリ法による血圧測定法を用いた
圧受容体反射の感受性の測定
（観血的方法との比較）

輪嶋 善一郎* 小川 龍*

要 旨

トノメトリ法による血圧測定法を用いて求めた圧受容体反射の感受性と、従来の観血的方法を用いて求めたそれとを比較検討した。圧受容体反射の感受性は、フェニレフリンを用いた昇圧試験及びニトログリセリンを用いた降圧試験により求めた。その結果、いずれも高い相関係数が得られ、高い精度で非観血的に昇圧試験、及び降圧試験により圧受容体反射の感受性を測定することが可能であることが示された。これは、ごく短時間に動脈圧が変化する場合でもトノメトリ法による血圧測定が可能であることを示唆している。今後は、より非侵襲的に圧受容体反射の感受性を測定するために、Valsalva 試験や tilting test 等を用いて行なう、などの応用が考えられ、外来、病棟での圧受容体反射の感受性の測定を容易にすると考えられる。

はじめに

トノメトリ法による血圧測定の原理は、比較的壁が薄い血管壁を、皮膚の外側から一定の面積の受圧板で圧すると、血管壁が平面になったとき壁の円周方向応力が消失し、内圧が直接受圧板に反映され、その圧力から動脈内圧を求めるという方法である。

トノメトリ法の応用による動脈血圧の測定は1963年に Pressman ら¹⁾により初めて報告され、その後 Drzewiecki ら²⁾により改良が加えられ、

この度日本コーリン社よりモニターとして市販されるに至った。

今回、フェニレフリンを用いた昇圧試験³⁾及びニトログリセリンを用いた降圧試験により、このモニター (CBM-3000) を用いて求めた圧受容体反射の感受性と、従来の観血的方法を用いて求めたそれとを、比較検討した。

方 法

神経、肺、心循環系の疾患を合併せず、血圧の左右差が無い ASA 分類 1 または 2 に属する成人予定手術患者 (21~42歳、平均年齢33.7±7.5歳 [標準偏差]) 25名を対象とした。(21~40歳、平均年齢30.9±7.1歳の) 12名を昇圧試験により、また他の (21~42歳、平均年齢36.6±6.8歳の) 13名を降圧試験により、圧受容体反射の感受性を測定した。麻酔前投薬の投与は行なわなかった。手術室搬入後、橈骨動脈にカテーテルを挿入し、トランスデューサー (グールド社製 P50) を介し、日本光電社製のモニター Life Scope 11 を用いて、観血的に動脈圧を測定した。ゼロ点は前腋窩線とした。

反対側の橈骨動脈上に日本コーリン社製の CBM-3000 の圧脈波センサーを装着し、上腕にカフを装着して、非観血的な連続圧脈波を測定するとともに、非観血的に動脈圧を測定した (写真1)。

CBM-3000 と日本電気社製パーソナルコンピュータ PC-9801VX21 を A/D コンバーター、絶縁アンプ及び RS-232C を介して接続し、コーリン電子社製ソフトウェア“自律神経パッケージ”にて、収縮期血圧と R-R 間隔をプロットし、

*日本医科大学付属病院麻酔学教室

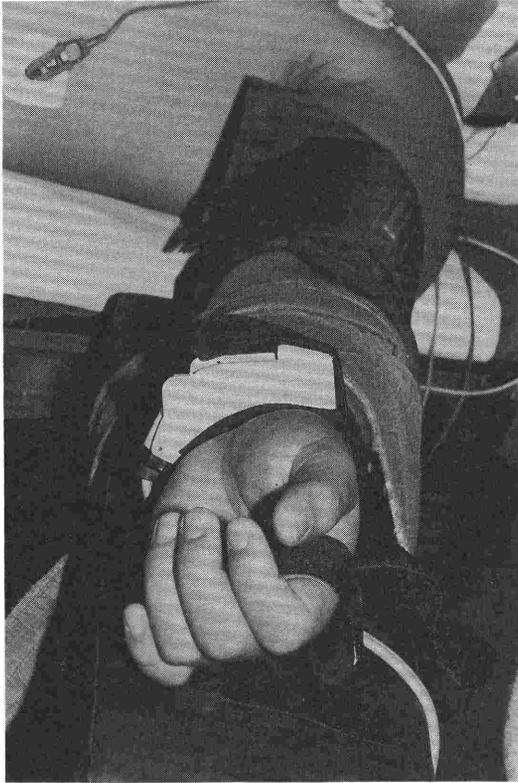


写真1

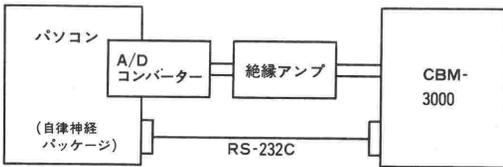


図 1

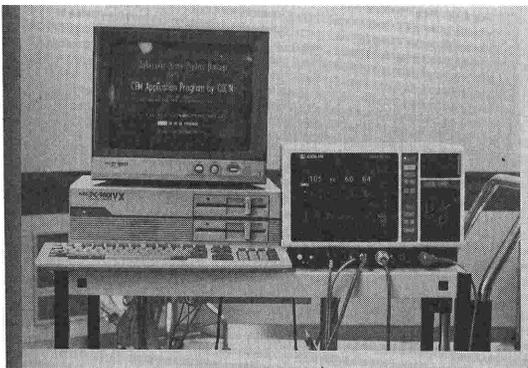


写真2

その直線部分の回帰直線の傾きを求め、それを圧受容体反射の感受性とした(図1, 写真2).

なお, 本研究を行うにあたり, 患者に対し本研究の趣旨を説明し, 了解を得た.

結 果

観血的方法とトノメトリー法による圧受容体反射の感受性を比較した結果, 昇圧試験にては, $r=0.91$ (図2), 降圧試験にては, $r=0.96$ (図3) といういずれも高い相関係数が得られた.

考 察

トノメトリー法の測定原理は, 比較的壁が薄い血管壁を, 皮膚の外側から一定の面積の受圧板で圧すると, 血管壁が平面になったとき壁の円周方向応力が消失し, 内圧が直接受圧板に反映され, その圧力から動脈内圧を求めるという方法である.

すなわち, 最も簡単な血管の形状として比較的薄い壁厚 h を持つ円筒状血管を仮定し, この管の内径を r_i , 外径を r_e , 内圧を P_i , 外圧を P_e とする. 図4のように, この管より長さ Δl , 中心軸よりみた角度 θ (ラジアン) の小部分を取り出し, この小片に働く円周方向の平均応力を σ_θ とする.

まず小片に垂直にかかる力の合計は,

$$P_i \cdot \Delta l \cdot r_i \cdot \theta - P_e \cdot \Delta l \cdot r_e \cdot \theta = \Delta l \cdot \theta (P_i r_i - P_e r_e)$$

となる.

次に, この小片の断面の円周方向にかかる力は $\sigma_\theta \cdot h \cdot \Delta l$ で, この力は半径に垂直な線より $(1/2)\theta$ 中心に向かって傾いているので, その大きさは $(\sigma_\theta \cdot h \cdot \Delta l) \sin(\theta/2)$ となる. 反対側の断面にかかる力も同じ大きさの力を中心方向にもち, したがって円周方向の力によってつくられる半径方向の力の合計は $2\sigma_\theta \cdot h \cdot \Delta l \cdot \sin(\theta/2)$ で, θ が小さいとき $\sin \theta \approx \theta$ であるから, この値は $\sigma_\theta \cdot h \cdot \Delta l \cdot \theta$ となる.

そしてこの力は, 血管内外圧差によってつくられる半径方向の力と均衡しているので,

$$\Delta l \cdot \theta \cdot (P_i r_i - P_e r_e) = \sigma_\theta \cdot h \cdot \Delta l \cdot \theta$$

すなわち, 壁の円周方向の応力 σ_θ は $(P_i r_i - P_e r_e) / h$ となる.

もし管が開放され, 内外圧差がない場合の応力 σ_0 は,

$$\sigma_0 = P_e (r_i - r_e) / h = -P_e = -P_i$$

である.

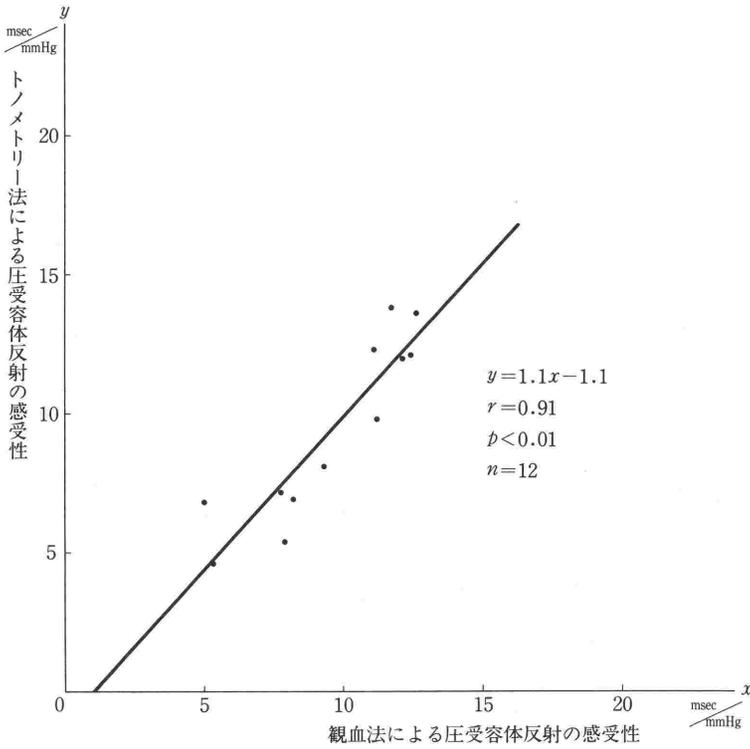


図2 昇圧試験による圧受容体反射の感受性の相関

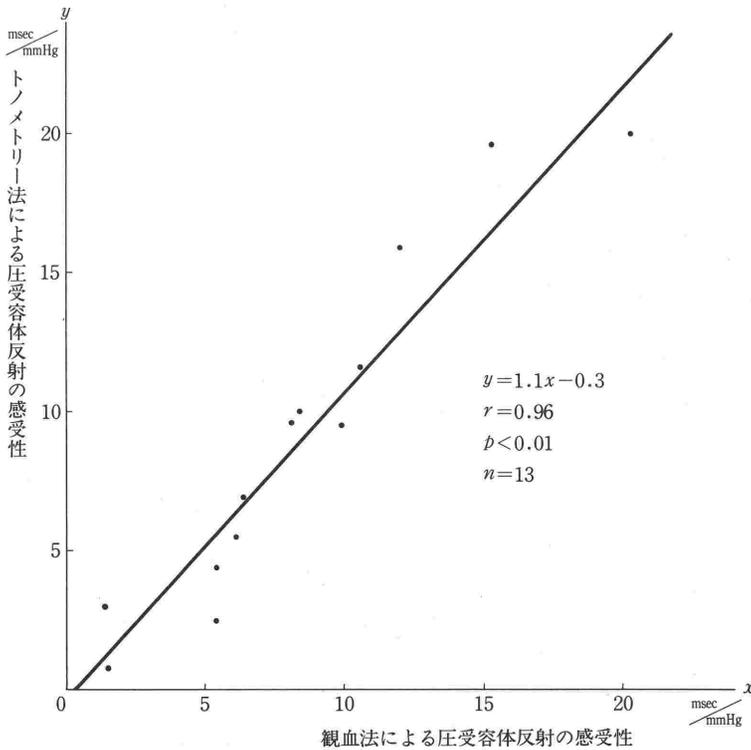


図3 降圧試験による圧受容体反射の感受性の相関

次に内圧を、外圧を参照圧として $P (P=P_i-P_e)$ で表わし、開放時の円周方向応力を、円周方向応力の基準にとり $\sigma (\sigma=\sigma_\theta-\sigma_0)$ で表わすと、

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma_\theta - \sigma_0 = \sigma_\theta - (-P_e) = (P_i r_i - P_e r_e) / h + P_e \\ &= \frac{P_i r_i - P_e r_e + P_e h}{h} = \frac{P_i r_i - P_e r_e + P_e (r_e - r_i)}{h} \\ &= \frac{(P_i - P_e) r_i}{h} = \frac{P \cdot r_i}{h} \end{aligned}$$

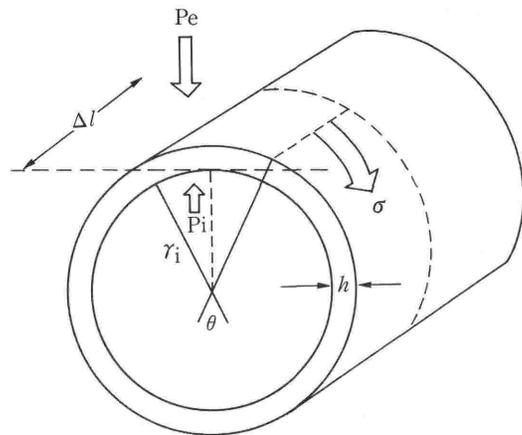
すなわち $\sigma = P \cdot r_i / h$ となる。

また、単位 Δl あたりの円周方向に働く力を T とすると、 $T = \sigma \cdot h$ なので $T = P \cdot r_i$ となり、Laplace の式となる。また $P_i - P_e = h\sigma / r_i$ の関係があるので、血管を平板で押しつけて血管壁を平らに近づければその曲率半径が無窮大となり、 P_i は P_e に近づき、 $P_i = P_e$ となる (図4下段) ので、

この P_e を測定する事により外部から動脈内圧を非観血的に連続的に推定できる事になる⁴⁾。

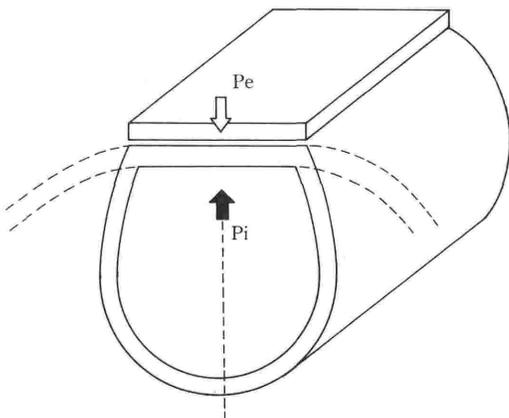
血圧は外部環境や内部環境の変化に応じて刻々変動しているため、1拍1拍連続的に記録できれば理想的である。特に、昇圧試験³⁾、降圧試験や Valsalva 試験⁵⁾、起立試験⁶⁾、寒冷負荷試験⁷⁾⁸⁾、運動負荷試験⁹⁾¹⁰⁾、メンタルストレス¹¹⁾¹²⁾ 時の血圧測定などの各種循環系機能検査では急激な血圧変動がみられるので、1拍ごとの連続血圧測定法が強く要望される。

従来、連続的な圧脈波を得、血圧を測定するためには、動脈にカテーテルを挿入する事が不可欠であった。その点、今回使用した CBM-3000 では、全く非観血的に圧脈波が得られ、血圧も測定できることから、動脈にカテーテルを挿入するこ



$$\begin{aligned} P &= P_i - P_e \\ \sigma &= \sigma_\theta - \sigma_0 \end{aligned}$$

- σ_θ : 円周方向応力
- h : 壁厚
- r_i : 内径
- r_e : 外径
- P_i : 内圧
- P_e : 外圧
- Δl : 管の長さ
- θ : 角度 (ラジアン)
- σ_0 : 管が開放されたときの円周方向応力



$P_i - P_e = \frac{h\sigma}{r_i}$ の関係がある ($h \ll r_i$) ので、
平板で動脈壁を圧迫し曲率半径を大きくするようにすれば、 P_i は P_e に近づく。

図4 トノメトリー法の原理
(栃久保著: 血圧の測定法と臨床評価より転載 (一部著者改変))

となく、昇圧試験、降圧試験による圧受容体反射の感受性の測定が可能ではないかと考えた。

本研究では、昇圧試験、及び降圧試験というごく短時間に動脈圧が変化する状態をトノメトリ法により測定したが、観血的方法と高い相関が得られ、高い精度で非観血的に昇圧試験、及び降圧試験により圧受容体反射の感受性を測定することが可能であることが示された。これは、ごく短時間に動脈圧が変化する場合でもトノメトリ法による血圧測定が可能であることを示唆している。

今回の研究では、CBM-3000 によって収縮期血圧と R-R 間隔を採取し、“自律神経パッケージ”というソフトウェアにてそれらをプロットし、その直線部分の回帰直線を求めた。このソフトウェアは、CBM シリーズによって採取されたデータを、処理、格納、解析するものであり、今後のさらなる応用が期待できる。

昇圧試験及び降圧試験は、薬物投与を行なうため煩雑かつ侵襲性を有するともいえるが、今後は、測定された圧受容体反射の感受性の値が降圧試験により得られた値と高い相関が得られる、と報告されている Valsalva 試験⁵⁾、あるいは tilting test¹³⁾ などのようなさらに簡便で非侵襲的な方法を用いて、圧受容体反射の感受性の測定を行なう、といった CBM-3000 の特長をさらに生かした応用が考えられ、外来、病棟での圧受容体反射の感受性の測定を容易にする事も可能と考えられる。

まとめ

圧受容体反射の感受性を、昇圧試験及び降圧試験により、トノメトリ法による血圧測定法と観血的方法を用いて測定し、比較検討した。トノメトリ法により求めた圧受容体反射の感受性と、観血的方法により求めたそれとは高い相関が得られた。

本稿の要旨は、第10回日本循環制御医学会総会（1989、東京）において発表した。

引用文献

- 1) Pressman, G., Newgard, P.: A transducer for the continuous external measurement of arterial blood pressure. *IEEE Transactions on Biomedical Electronics* 10:73~81, 1963.
- 2) Drzewiecki, G., Melbin, J., Noodergraaf, A.: Arterial tonometry: review and analysis. *Journal of Biomechanics* 16:141~152, 1983.
- 3) Smyth, H. S., Sleight, P., Pickering, G. W.: Reflex regulation of arterial pressure during sleep in man: A quantitative method of assessing baroreflex sensitivity. *Circ. Res.* 24:109~121, 1969.
- 4) 栃久保修：血圧の測定法と臨床評価，メディカルトリビューン，東京，44~45頁，1988.
- 5) Goldstein, D. S., Horwitz, D., Keiser, H. R.: Comparison of technique for measuring baroreflex sensitivity in man. *Circulation* 66:432~439, 1982.
- 6) 寺岡賢治：起立時循環調節機能の非観血的評価に関する研究—第1報 起立時循環動態に及ぼす加齢の影響に関する研究. *日本老年医学会雑誌* 15:437~444, 1978.
- 7) Ramesh, K. K., S. Watabiki, J. R. Hebel, et al.: Cold face test in the assessment of trigeminal-brainstem-vagal function in humans. *Ann. Neurol.* 7:144~149, 1980.
- 8) 岩橋成寿，鈴木仁一，野村泰輔ほか：人工的ストレス負荷による新型 GSR の変動. 循環器 PSM の会合記録（第31回）:25~28, 1988.
- 9) 佐藤恵美，野田汎史：運動負荷試験における循環系諸量に関する研究. 筑波大学医療技術短期大学部研究報告 8:125~133, 1987.
- 10) 猪岡英二，前原和平，井上寛一ほか：循環機能検査—循環器—運動負荷試験. 診断と治療 75:536~540, 1987.
- 11) 藤井 潤，天野晶夫：降圧療法の評価—血圧値の評価と管理. 総合臨牀 33:379~382, 1984.
- 12) 桃生寛和，鈴木仁一：機能検査法の進歩—循環器—メンタルストレス試験. 診断と治療 75:548~550, 1987.
- 13) 大住寿俊，奥村福一郎，二宮石雄：意識下と全身麻酔下のヒトにおける体位変換時の動脈圧調節の差異. *日本生理誌* 47:237~242, 1985.

Measurement of Baroreflex Sensitivity by Arterial Tonometry (A Comparison with the Invasive Method)

Zen'ichiro Wajima and Ryo Ogawa

Department of Anesthesiology, Nippon
Medical School, Tokyo, 113

Baroreflex sensitivity was measured by arterial tonometry, which was compared to the invasive arterial catheterization method, both by a pressor test using phenylephrine and a depressor test using nitroglycerin. The correlation coefficient of baroreflex sensitivity between the arterial tonometry and by the invasive arterial catheterization method was sufficient enough, meaning that baroreflex sensitivity can be measured precisely by a non-invasive method using a pressor test and a depressor test. This suggests that even when arterial blood pressure changes over a short time, arterial blood pressure can be measured by arterial tonometry. Baroreflex sensitivity will be measured much more "non-invasively" using the Valsalva maneuver or tilting test for inpatients and outpatients alike.

Key Words: Baroreflex sensitivity, arterial tonometry

* *

* *

* *

* *

* *

* *

* *

* *

* *