

原 著

トノメトリ法による血圧測定の精度とその臨床応用の検討

大久保 敏博*, 四 釜 裕 睦*, 亀 海 明 久**,
河 東 寛***, 浅 野 真****, 上 田 光 男*****,
櫻 谷 憲 彦*****, 武 井 純 二*****

要 旨

トノメトリ法による動脈圧測定法（以下 TBP 法）の有用性を検討するため、全身麻酔下の手術症例 99 人において、観血法（以下 IBP 法）による測定法と 10,157 ポイントで同時測定を行い、比較、検討した。両測定法間の bias の平均値は、収縮期血圧、平均血圧、拡張期血圧で、各々 -0.8, -2.4, -2.2 mmHg といずれも小さかった。しかしながら、bias の標準偏差は、各々 ±8.6, ±7.1, ±7.6 mmHg とやや大きかった。TBP 法は IBP 法に代る血圧測定法というよりは、校正に使用しているオシロメトリ法（以下 OSC 法）を更に発展させた非観血的な連続血圧測定法と位置づけられる。本法は、1) 血圧の急激な変化を素早く捉える、2) 患者に対して非観血的である、3) 手術室勤務者の感染の機会を少なくする、など多くの利点を有することから、臨床麻酔で十分有用な測定法と考えられる。

諸 言

近年の麻酔においては、患者の高齢化、病態の複雑化、手術適応の拡大に伴い、カフによる間欠的血圧測定法では対応できない症例が多くなっていく。このため観血的で連続的な血圧をモニタリ

ングするため、IBP 法は、多くの症例で施行されるようになっていく。しかしながら、これによる大きな合併症は少ないとはいえ、合併症の機会が増えることになる。

最近、麻酔科領域でも広く使用されるようになってきた TBP 法を応用した血圧測定は、1) 非観血法であり、2) 圧波形と 1 心拍毎の血圧値を連続的に測定、表示し、3) 従来のカフを使用した間欠的な方法よりも血圧の変化を素早く捉えることが可能である、などの優れた特徴がある。はたして TBP 法は IBP 法に代り得る血圧測定法といえるだろうか。これまで両者による測定値を検討した報告では、多くは高い相関を認めている¹⁻⁴⁾が、異論もある^{5,6)}。その原因として対象人数、測定ポイント数、手術々式の違い、使用カフの性状などが考えられる。今回は複数施設で同一のプロトコールにより共同研究をすることにより、対象患者と測定ポイント数を増やし、また血圧測定用カフとして専用のディスプレイカフを使用し、連続血圧測定装置 JENTOW 7700（日本コーリン社製）による測定値を、観血法による測定値と比較検討したので報告する。

方 法

JENTOW 7700 は血管壁に適当な圧（押圧）を加えて平坦化し、これに及ぼす血管内圧をトノメトリセンサで測定する。単一のセンサを動脈壁の中心に長時間固定することは困難であるため、トノメトリセンサでは 30 個のミニチュアセンサエレメントを採用し、そのうち圧波形が最大に描出できる 1 個のエレメントが選択される。センサがずれると、自動的にセンサを動脈壁の中心に移動さ

*函館中央病院麻酔科

**国立療養所西札幌病院麻酔科

***市立札幌病院麻酔科

****王子総合病院麻酔科

*****美唄労災病院麻酔科

*****手稲溪仁会病院麻酔科

*****釧路労災病院麻酔科

せる自動サーチ方式を採用している。押圧は圧波形が最大振幅となる圧が内蔵コンピュータで決定される。センサに加わる圧を血圧値に変換するために、一定時間ごとに OSC 法による非観血方法で校正がなされる。

今回研究に参加したのは7施設である。全身麻酔下に手術が予定され、また麻酔管理に連続的血圧測定が必要と判断された ASA 1～2 の男性40人、女性59人 (16～84歳、平均53.4±13.1歳、身長157.7±7.8cm、体重57.9±8.8kg) を対象とした。

手術室収容後、あらかじめ測定した患者の上腕径の1.3倍以上の幅の JENTOW 用ディスプレイカフを上腕に装着した。その末梢の橈骨動脈には22G テフロン針を留置し、動脈圧測定回路に接続した。回路および測定装置は各施設が通常使用しているものとした。反対側の前腕には IBP 測定用センサを装着した。反対側にするのは、圧波形を可能な限り遮断しないこと、カフ圧を加えることによるトノメトリセンサへの微妙な影響を回避するためである。圧校正は2.5～5分間隔で行った。今回用いた JENTOW 7700 (software version CCB-028) は押圧を2.5分毎、センサの動脈壁への接触状態を8秒毎にチェックしている。両手法による血圧のサンプリング間隔は1～3分とした。初回測定時に両測定法による圧較差が10 mmHg 以上の症例は統計より除外した。

使用麻酔薬および麻酔中の使用薬物は各施設の自由とし、特に定めなかった。また低血圧麻酔の症例は含めなかった。測定ポイント数は患者間のサンプル数の較差を少なくするため、患者1人あたり65～135回とした。

統計学的評価は limits of agreement (一致性の限界) を用いた。Bias は TBP 法が IBP 法に比較し、高めに測定されるか、あるいは低めに測定されるか、その傾向を示す。また precision は両測定法の誤差の絶対値である。それぞれは以下の式で求められる。

$$\text{Bias} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{TBP}_i - \text{IBP}_i}{n}$$

$$\text{Precision} = \frac{\sum_{i=1}^n |\text{TBP}_i - \text{IBP}_i|}{n}$$

i = 血圧測定 n = 比較血圧数

IBP-TBP の散布図を Bland と Altman⁸⁾ の方法に従って求めた。測定法に golden standard がない場合には、横軸には比較する両測定法による測定値の平均をとる。

結 果

今回の比較検定における全測定ポイント数は10,157点であった。Precision は収縮期、平均、および拡張期血圧がそれぞれ6.4 mmHg、5.2 mmHg、6.0 mmHg であった。Bias の平均はそれぞれ-0.8 mmHg、-2.4 mmHg および-2.2 mmHg とその絶対値は小さかった。また TBP 法の測定値の平均は IBP に比較して僅かに低値であった。

Bias の散布図を図1, 2, 3に示す。TBP 法で得られる血圧値の95%が±2SDに含まれる。この範囲は、収縮期血圧で16.4～18.0 mmHg、平均血圧で13.0～17.4 mmHg、拡張期血圧では11.8～16.6 mmHg であった。

考 案

今回の成績で、bias の平均は-0.8～-2.4 mmHg と極めて小さく無視できる程度であった。一方標準偏差 (±SD) は収縮期血圧で、±8.6 mmHg、平均血圧±7.1 mmHg、拡張期血圧では±7.6 mmHg と比較的大きかった。IBP との測定値の違いの原因として、以下の要因が考えられる。

- 1) 測定法の違い

JENTOW 7700は校正に OSC 法を採用している。そのため OSC 法と IBP 法の測定誤差が問題となる。OSC 法で測定した値が IBP 法で測定した値と誤差があれば、当然それ以降の TBP 法との比較において、誤差を生じる。今回は最初の血圧測定の時点で10 mmHg 以上の圧較差がある症例は除外することにより、OSC 法に起因する測定誤差を少なくした。郷ら⁹⁾は OSC 法の相関を IBP 法および聴診法と比較している。それによると、IBP 法は聴診法よりも、OSC 法との相関が低かったと報告している。また Lawrence ら⁶⁾は IBP 法と OSC 法を比較し、平均血圧で両者の測定値間に2.4±7.5 mmHg の違いを報告している。本来 OSC 法は平均血圧を同定するために考案された方法である。収縮期血圧、拡張期血圧はカフ振動の振幅増大、減少の情報をもとに、あるアルゴリ

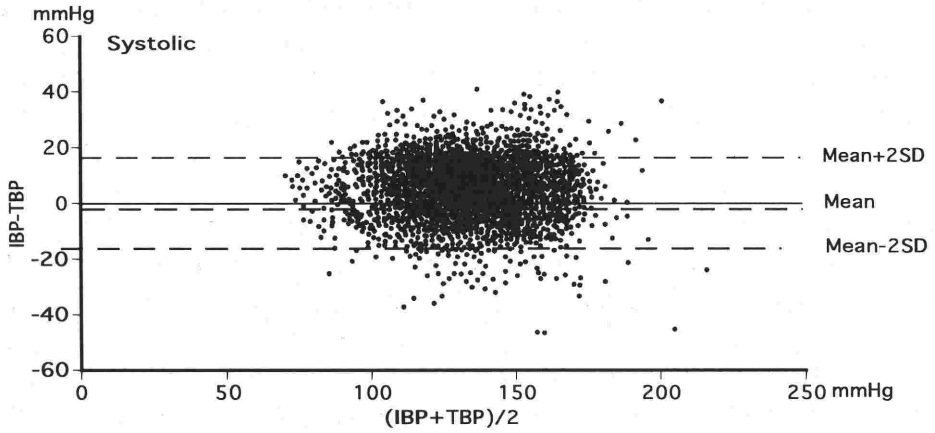


図1 トノメトリ法と観血的手法による血圧値との一致性 (収縮期血圧)

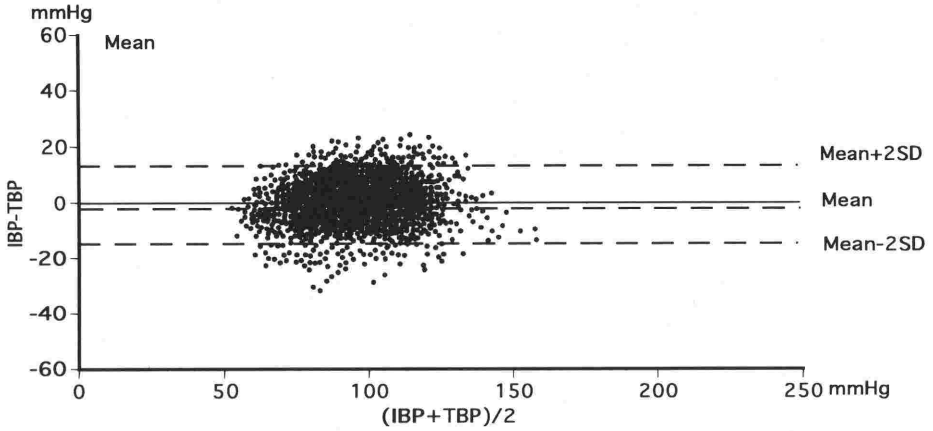


図2 トノメトリ法と観血的手法による血圧値との一致性 (平均血圧)

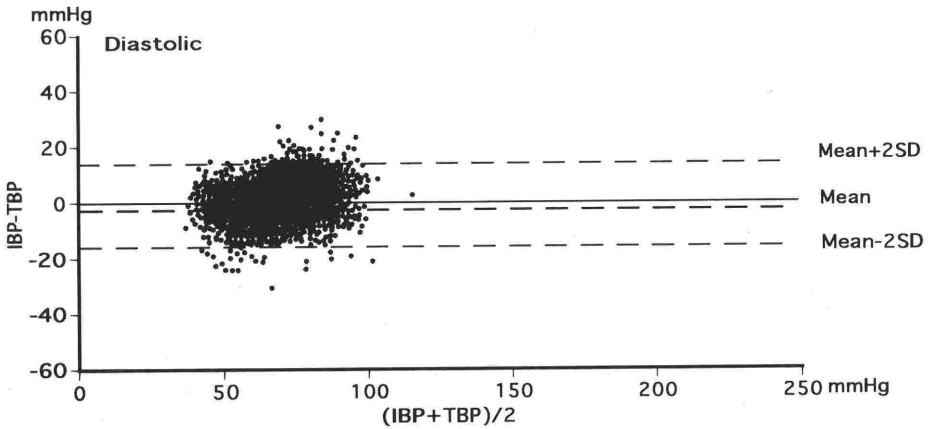


図3 トノメトリ法と観血的手法による血圧値との一致性 (拡張期血圧)

ズムに基づいて決定され、しかもその値はいかようにも設定することが可能である。JENTOWのアルゴリズムはIBP法に近似させてはいるとはいえ、OSC法自体により測定誤差を生じた可能性もある。また今回の成績では、収縮期血圧、拡張期血圧に比較して、平均血圧で標準偏差が小さかったのは、校正がOSC法により行われているためと考えられる。さらに、IBP法は必ずしもgolden standardではなく、十分に留意したとしてもトランスデューサの位置異常、波形のなまりやオーバーシュートなどの可能性は皆無ではない。そのためにIBP法による正確な血圧測定はなされず、TBP測定法と誤差を生じることも考えられる。TBP法も血管壁の弾性により、測定値が影響されることが予想される。

2) 測定部位の違い

TBP法とIBP法はそれぞれ反対側の橈骨動脈の圧を測定している。左右で橈骨動脈の圧差があれば、測定値に影響する。また両手法は橈骨動脈の圧を測定しているものの、TBP法は校正している上腕動脈の圧の影響を受けている。上腕動脈と橈骨動脈では圧差が存在する。末梢になるに従い、収縮期血圧は高く、平均血圧、拡張期血圧は低下する。この圧差は(1)反射、(2)増幅、(3)共鳴、(4)圧レベルにより伝播速度が異なることなどが関与している¹⁰⁾。特に、麻酔および手術中に交感神経緊張状態があれば末梢血管が強く収縮し、両者の測定値の較差の分布が大きくなることは、容易に推測される。TBP法は末梢で血圧を測定しているが、IBP法に比較すれば、より中枢の血圧を反映する測定法と考えられる。

3) IBP測定モニタとJENTOWのアルゴリズムの違い

今回各施設で使用したIBPモニタリングの回路、装置は、同一機種ではなかった。各機種により異なるアルゴリズムを採用していることが予想される。また、IBP法で使用した測定回路のダンピング係数、固有振動数も異なっている。これらの要因も測定誤差を生じる要因となったと考えられる。

4) その他

血圧測定時のノイズや体動、また外圧がカフに加わる状況では、OSC法による測定に大きく干渉することが考えられる。検定は麻酔状態のもと

で、術者によるカフの圧迫や、患者の体動などが存在する環境で行われた。これらも測定精度に影響したと考えられる。

TPB法は麻酔管理において、信頼できるモニタであろうか。自動血圧計の評価で、一般的なものとして、米国のAssociation for Advance of Medical Instrument (AAMI)¹¹⁾がある。これによれば、許容範囲はbiasの平均 $\leq \pm 5$ mmHg、かつ標準偏差 $\leq \pm 8$ mmHgである。今回の測定結果ではbiasの平均は $-0.8 \sim -0.24$ mmHgでこの基準をはるかに凌駕していた。しかし、標準偏位は、収縮期血圧で ± 8.6 mmHg、平均血圧で ± 7.1 mmHg、拡張期血圧では ± 7.6 mmHgであり、収縮期血圧ではAAMIの基準を若干越えていた。本手法の検定が麻酔中という条件下でなければ、この基準を満たしたと思われる。

それでは麻酔という条件下ではTBP法はIBP法に代りえる手法ではないのだろうか。新しい手法によるデータがスタンダードとされる手法によるものと一致するかどうかを検定するには、limits of agreementが用いられる。これは一致性の検定であり、新しい手法の正確性の検定ではない。これによると2SDはそれぞれ ± 17.2 mmHg、 ± 14.2 mmHg、 ± 15.2 mmHgと大きくなる。剣物らは、成人^{1,2)}、小児³⁾、低血圧麻酔患者⁴⁾でlimits of agreement法を用いてTBP法とIBP法を比較している。これによると正常血圧群では収縮期、平均、拡張期血圧のbiasの平均は $-0.4 \sim 0$ mmHgと極めて小さい。標準偏差は $\pm 4.7 \sim \pm 5.9$ mmHgと小さく、麻酔中の血圧値として許容範囲であり、TBP法がIBP法に代りうる可能性を指摘している。同様にNormanら⁵⁾は、心臓手術後で、頻脈で心房細動を有し血圧が変動するという測定に不利な条件の患者で、両測定法を比較している。これによるとbiasの平均は $0.33 \sim 1.71$ mmHgと今回の結果より小さい。標準偏差もまた $\pm 4.20 \sim \pm 4.60$ mmHgと極めて小さいと報告している。今回の研究では前述のように、IBPモニタリングに数社の異なる測定回路と装置を使用したために標準偏差が大きくなったと考えられる。

これに対して、Burkhardtら⁷⁾は胸部手術と血管手術患者10人でTBP法とIBP法を比較している。これによると収縮期、平均、拡張期血圧のbiasの平均は $-0.96 \sim 4.99$ mmHg、標準偏位は \pm

15.10 \pm 19.46 mmHgであり、現在の型式ではIBP法の代りにならないとしている。またLawrenceら⁶⁾は、17人の麻酔中の患者で平均血圧を比較し、biasの平均は ± 1.3 mmHgと比較的小さかったが、標準偏差は ± 9.4 mmHgと大きかったと報告している。更にこの較差の原因として、校正に用いているOSC法の関与が大きいと述べている。これらの報告ではカフを装着した腕がカニューラ側か、トノメトリセンサ側か不明である。カフとセンサが同側の場合には、カフにより血圧測定時に上腕の締め付けに伴って、橈骨動脈圧センサで脈圧を検出することができなくなる。このため、上腕でカフ測定をしている真の最中の橈骨動脈で補正することができない。上腕でのカフ測定終了後、再び安定した脈圧を検出し補正するまで15~30秒を要する。上腕での血圧測定中に、急激な血圧変動があれば大きな測定誤差を生じることになる。

また患者1人当りの測定ポイント数にばらつきがあれば測定較差が大きくなる可能性がある。もし、測定誤差の少ない患者での測定回数が少なく、誤差の大きい患者での測定回数が多ければ標準偏差は当然大きくなる。今回は対象患者数を99人と増やし、しかも1人当りの測定回数を65~135回と制限することによりばらつきを避ける努力をした。

麻酔という条件下で、TBP法がIBP法に代る測定法であると言えないなら、TBP法は臨床的価値がないのだろうか。Lawrenceら⁶⁾はTBP法はIBP法の代りになりえないが、血圧が変化する際には厳密なモニタになりうると述べている。また、TBP法はOSC法を発展させた手法と考えるべきであるとしている。将来、TBP法の応用の技術が進歩とともに改良され、OSC法による校正が不要となるなら、TBP法はIBP法に代りうる手法になると期待される。

TBP法による圧測定の有用性は、1) 従来の非観血法では視認できなかった測定間隙の血圧を連続的に表示することにより、より安全な麻酔管理が可能になることである。特にIBP法によるモニタリングが必要ないが、血圧変動が大きいことが予想される高血圧患者や脊椎麻酔患者、また短時間の低血圧麻酔患者には特に有用と考えられる。Jamesonら¹²⁾は、連続的な非観血的モニタリ

ングにより、術中の高血圧や低血圧のエピソードを減少させることが可能であったと報告している。2) 患者の感染、血栓形成による組織壊死、血腫形成、神経損傷などの動脈カニューレーションに伴う合併症を除くことができる。3) 勤務者の感染の機会が少なくなる。4) 電気メス使用下でも血圧測定数値への影響がない。またオーバーシュートやなまりなどの現象が少ない。その反面、1) 体動に弱い。2) 適切な位置にセンサを装着できる様になるまで、多少の熟練がいる、などの欠点がある。以上を考慮して使用するならば、TBP法はOSC法の間隙を埋める測定法として、今後麻酔管理に有用なモニタとなりうるといえる。

結 論

全身麻酔下の手術症例99人において、トノメトリ法による動脈圧測定値を観血的測定法による測定法による測定値と10,157ポイントについて比較、解析した。

両手法によるbiasの平均は収縮期、平均、拡張期血圧で、 -0.8 ~ -2.4 mmHgと小さかった。一方biasの標準偏差は、収縮期圧で ± 8.6 mmHg、平均血圧で ± 7.1 mmHg、拡張期血圧で ± 7.6 mmHgと比較的大きかった。本法は観血法の代りと考えよりは、校正に用いているオシロメトリ法をより発展させた、連続的な非観血的血圧測定法として利用できるモニタである。

文 献

- 1) 釧物 修: トノメトリ法による血圧測定, 呼と循 42 : 1173-1179, 1994
- 2) Kemmotsu O, Ueda M, Otsuka H, et al : Arterial tonometry for noninvasive, continuous blood pressure monitoring during anesthesia. *Anesthesiology* 75 : 333-340, 1991
- 3) Kemmotsu O, Ohno M, Takita K, et al : Noninvasive, continuous blood pressure measurement by arterial tonometry during anesthesia in children. *Anesthesiology* 81 : 1162-1168, 1994
- 4) Kemmotsu O, Ueda M, Otsuka H, et al : Blood pressure measurement by arterial tonometry in controlled hypotension. *Anesth Analg* 73 : 54-58, 1991
- 5) Searle NR, Perrault J, Ste-Marie H, et al : Assessment of the arterial tonometer (N-CAT) for the continuous blood pressure measurement in rapid arterial fibrillation. *Can J Anaesth* 40 : 388-393, 1993
- 6) Siegel LC, Brock-Utne GB, Brodsky JB, et al : Comparison of arterial tonometry with radial artery catheter measurement of blood pressure in anesthetized pa-

- tients. *Anesthesiology* 81:578-584, 1994
- 7) Burkhardt D, Kinnealey E, Cooper J, et al: Comparison of arterial tonometry with invasive pressure monitoring (abstract). *Anesthesiology* 77:A479, 1992
- 8) Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*:307-310, 1986
- 9) 郷 律子, 斎藤隆雄, 荒瀬友子ほか: 観血法, 振動法, 聴診法による血圧測定値の比較—血圧レベルと動脈硬化の影響—. *麻酔* 37:189~196, 1988
- 10) Pitlic SD, Morduchowicz G, Blal A, et al: Overestimation of blood pressure in the elderly. *Ist J Med Sci* 22:435-440, 1986
- 11) Association for the Advance of Medical Instrumentation: American national standard for electronic or automated sphyngomanometers. Washington DC: AAMI, 1987
- 12) Jameson LC: Continuous noninvasive blood pressure monitoring reduces hyper- and hypotension in high risk patients. *Anesthesiology* 79:S1081, 1993

Blood Pressure Measurement by Tonometry in Anesthetized Patients

Toshihiro Ohkubo, Hirochika Shikama, Akihisa Kamegai,
Hiroki Kawahigashi, Makoto Asao, Mitsuo Ueda
Norihiko Sakuraya and Junji Takei

Departments of Anesthesia, Hakodate Chuo Hospital,
Departments of Anesthesia, Sapporo Western National Hospital,
Departments of Anesthesia, Sapporo City Hospital, Departments of Anesthesia, Tomakomai Jujo Hospital,
Departments of Anesthesia, Bibai Rosai Hospital, Departments of Anesthesia, Teine Keijinkai Hospital,
Departments of Anesthesia, Sapporo Shakaihoken general Hospital

We examined accuracy, reliability and clinical acceptance of tonometric blood pressure measurement with intraarterial blood pressure measurement in anesthetized patients. The study population consisted of ninety-nine adult patients (16-84 yr, ASA physical Status 1-2). A blood pressure cuff is placed on the upper arm and a 22G arterial cannula into the radial artery of the same side.

An arterial tonometry sensor housing is placed on the contralateral radial artery. Data was sampled every 1~3min throughout the anesthesia procedure. We compared two measurement values by "limits of agreement". Limits of agreement (\pm

2SD) were ± 17.2 mmHg for systolic, ± 14.2 mmHg for mean and ± 15.2 mmHg for diastolic pressure in 10,157 paired points. Bias were negligible ($-0.8 \sim -2.4$ mmHg). The agreement between TBP and IBP was limited. TBP cannot be expected as a replacement for IBP measurement. It should be regarded as a continuous oscillometric blood pressure measurement. Blood pressure measurement by tonometry is useful for patients with rapid alterations in blood pressure during anesthesia and surgery, and reduce the hazard related to intraarterial cannulation for both patients and operating room staffs.

Key Words : Anesthesia, Blood Pressure, Tonometry.

(Circ Cont 16:358~363, 1995)