

学 位 論 文 題 名

麻酔管理におけるトノメトリ法応用による非観血的、
連続的動脈血圧測定 of 臨床的評価

学位論文内容の要旨

I. 研究目的

近年、心血管系合併症を有する患者の増加、病態の複雑化、手術適応の拡大などによって、術中に血圧が大きく変動することが予想される症例が増えてきている。したがって、麻酔管理においては、動脈内にカニューレを留置し、一心拍毎の血圧値と血圧波形をモニタリングできる観血的手法(以下 inter-arterial blood pressure : IBP)が普及している。しかし、動脈内にカニューレを留意することには動脈損傷、血栓形成、感染などの合併症が懸念され、非観血的手法による一心拍毎の血圧値と血圧波形のモニタリングが望まれていた。トノメトリ法応用による血圧測定は以前より種々の研究がなされてきたが、センサの大きさ、装着法の問題などのためにより広い臨床応用には至らなかった。今回、トノメトリ法応用による連続的、非観血的血圧測定装置を改良、開発し、その臨床的検討を行ったので報告する。

II. 対象と方法

1) 正常血圧群：北海道大学医学部附属病院中央手術部における麻酔管理を行った ASA (American Society of Anesthesiologists) 術前評価 1～3 の定期手術患者70名 (男性32名, 女性38名, 8～82歳) を対象とした。オシロメトリック法による血圧測定を左右の上腕で行い、5 mmHg 以上の差のある症例は研究の対象から除外した。右ないし左橈骨動脈に22Gテフロン製カニューレを挿入し、校正された Gould P23XL トランスデューサを用いて連続的に IBP を測定した。反対側の橈骨動脈上にトノメトリセンサを装着し、連続的に動脈血圧 (以下 tonometric blood pressure : TBP) を測定した。このセンサは、15個の径0.6mmの圧抵抗性ミニチュアトランスデューサを0.3mm間隔に一列に配列したものである。自動サーチ方式 (automatic sensor positioning system) によって一個のトランスデューサが確実に動脈壁の中心に位置するように工夫されている。血管壁に加えられる圧 (hold-down pressure) は最良の圧波形 (脈

庄)の得られる値を内蔵のコンピュータにより自動的に選択される。本装置による血圧の校正は反対側の上腕に装着したカフを用いてのオシロメトリック法により行った。両手法による信号は心電図とともに連続的にPCMテープレコーダとNEC9801UXコンピュータに記録し、データ解析に供した。一部の症例では押庄による末梢血流障害の有無を確認するために、センサ装着側の母指にパルスオキシメータ(Pulsox-7, ミノルタ製)を装着し、連続的にプレチスモグラムを観察した。データのサンプリングは血圧変動の大きいと予想される麻酔導入期, 麻酔回復期に、それぞれ10~25分間、連続的に行った。

2) 低血圧麻酔群: 同様の方法によって、人為的低血圧麻酔管理を行ったASA術前評価1~3の定期手術患者21名(男性13名, 女性8名, 10~76歳)を対象として両手法を比較した。低血圧はエンフルレン/笑気麻酔のもとでニトログリセリンの持続静脈内注入により目的の血圧を得た。データのサンプリングは低血圧導入期(10分), 持続期(30分)および回復期(10分)に連続的に行った。

両手法を比較するために両手法の収縮期血圧(以下, systolic arterial pressure: SAP), 平均血圧(以下, mean arterial pressure: MAP), 拡張期血圧(以下, diastolic arterial pressure: DAP)についてbias(mean difference between two methods)およびlimits of agreement(mean \pm 2 SD of bias)を求めた。Biasの変化は両群におけるSAP, MAP, DAPの値をそれぞれの4段階の血圧値に分けて評価した。

III. 結 果

両手法による血圧波形は極めて類似しており、急激な血圧変動時においてもTBPはIBPにリアルタイムに追隨していた。期外収縮の場合にも両波形上に相似形の期外収縮が認められた。さらに、IBP波形にオーバーシュートが見られた場合にも、TBPには認められなかった。押庄によるプレチスモグラム上での血流障害は認められず、術後に圧迫部位に局所的变化は見られず、疼痛などの訴えもなかった。

正常血圧群ではbiasはSAPで -0.4 ± 5.9 mmHg (M \pm SD), MAPで -0.1 ± 4.7 mmHg, DAPで 0.0 ± 5.4 mmHgであった。Limits of agreementはSAPで -0.4 ± 11.8 mmHg, MAPで -0.1 ± 9.4 mmHg, DAPで 0.0 ± 10.8 mmHgであった。各血圧段階毎のbiasはSAPで $-1.8 \sim 0.2$ mmHg, MAPで $-0.8 \sim 0.6$ mmHg, DAPで $-1.0 \sim 0.7$ mmHgの範囲であった。

低血圧麻酔群ではbiasはSAPで -0.7 ± 6.6 mmHg (M \pm SD), MAPで 0.7 ± 5.0 mmHg, DAPで 2.8 ± 5.8 mmHgであった。Limits of agreementはSAPで -0.7 ± 13.2 mmHg, MAPで 0.7

±10.0mmHg, DAP で 2.8 ± 11.6 mmHg であった。各血圧段階毎の bias はSAP で $-2.1 \sim 2.3$ mmHg, MAP で $-1.6 \sim 3.5$ mmHg, DAP で $-0.6 \sim 3.8$ mmHg の範囲内であった。

IV. 考 察

1) 原理および方法論：トノメトリ法による動脈血圧の測定原理は押圧 (hold-down pressure) をかけて血管壁を平坦化すると、血管壁の局率半径は無量大となり、円周方向応力が消失する。したがって、測定圧は血管壁に垂直に働く血管内圧を直接反映する。このためには①動脈は下から骨で支えられていること、②押圧は動脈壁を平坦化するが閉塞はしないこと、③動脈壁と皮膚の距離は動脈径に比べて小さく、無視できること、④動脈壁は理想的な膜様作用を示すこと、⑤センサは動脈平坦部の面積より小さく、その中心に位置することなどの条件が必要となる。

原理的にはトノメトリ法は単一のトランスデューサによって圧測定が可能である。しかし、動脈壁に働く円周方向応力と周囲組織からの影響を完全に除去するには、トランスデューサの径と動脈の径の比が $0.10 \sim 0.25$ であることが必要と考えられている。今回の装置では、橈骨動脈の径を2mmと推定すると、この比は約0.3と条件を満たしていない。そこで、より確実に安定した血圧値を得るために、オシロメトリック法による上腕部の血圧を校正値として用いている。今後、さらにより精巧で信頼度の高いミニチュアトランスデューサが開発されれば、オシロメトリック法による校正は不要となる。

2) 臨床成績：正常血圧群、低血圧麻酔群の bias および limits of agreement の値は臨床麻酔上、許容範囲内であり、TBI はIBP に匹敵するものであるといえる。

TBP 波形はIBP 波形と相似形であり、急激な血圧変動時にもリアルタイムに追従しており、その信頼性、再現性には問題ない。本法は非観血的であり、動脈にカニューレを留意する必要がないので、合併症もなく、患者への負担も少ない。さらに、その装置にも特殊な技術は必要なく、長時間使用しても神経や血管の損傷はなく、安全性、易使用性の点においても、観血的手法より有利である。また、TBP ではIBP にみられるような血圧波形のオーバーシュートやなまりがなく、TBP の血圧波形の信頼性の高いことを示している。TBP ではIBP と違って動脈血ガス分析が不可能である。しかし、現在ではパルスオキシメトリとカプノグラフィにより、非観血的に酸素化と換気の程度を評価することが可能であり、これらと組合せることにより、低血圧麻酔を含めた大部分の症例では動脈血ガス分析なしに麻酔中の患者管理は安全に施行できると考えられる。

以上、トノメトリ法による血圧測定は臨床麻酔での患者管理における血圧のモニタリングに十

分使用できることが確認された。今後は、集中治療、救急医療分野での患者管理や、循環器内科や臨床薬理における薬物の効果判定や種々の機能検査への応用も期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 劔 物 修

副 査 教 授 安 田 慶 秀

副 査 教 授 小 山 富 康

1. 研究目的

トノメトリ法応用による非観血的、連続的動脈血圧測定（TBP）を臨床麻酔において、観血的手法（IBP）と比較、検討し、その正確性、信頼性、臨床的有用性を立証した。

2. 対象と方法

対象は一般的な麻酔管理を行った定期手術患者70名（男性32名、女性38名、8～82歳）（正常血圧群）と人為的低血圧麻酔管理を行った定期手術患者21名（男性13名、女性8名、10～76歳）（低血圧麻酔群）とした。あらかじめオシロメトリック法により左右の上腕にて血圧測定を行い、5 mmHg 以上の差のある症例は除外した。左ないし右橈骨動脈上にトノメトリセンサを装着し、連続的に動脈血圧（TBP）を測定した。このセンサは、15個の径0.6mmの圧抵抗性ミニチュアトランスデューサを0.3mm間隔に配列してある。自動サーチ方式によって一つのトランスデューサが確実に動脈壁の中心に位置するように工夫されている。血管壁に加えられる押圧（hold-down pressure）は最良の圧波形（脈圧）の得られる値を内蔵のコンピュータにより自動的に選択される。本装置による血圧の校正は反対側の上腕に装着したカフを用いてのオシロメトリック法により行った。両手法による信号は心電図とともに連続的にPCM データリコーダと NEC 9801UC コンピュータに記録し、データ解析に供した。一部の症例ではセンサ装着側の母指にパルスオキシメータを装着し、押圧による末梢血流障害の有無を確認するために、連続的にプレチスモグラムを観察した。

両手法を比較するために両手法の収縮期血圧(SAP)、平均血圧(MAP)、拡張期血圧(DAP)について bias および limits of agreement ($\text{mean} \pm 2 \text{SD of bias}$) を求めた。bias の変化は

両群における SAP, MAP, DAP の値をそれぞれの 4 段階の血圧値に分けて評価した。

Ⅲ. 結 果

両手法による血圧波形は相似形であり、急激な血圧変動時においても TBP は IBP にリアルタイムに追随した。期外収縮の場合にも両波形上に相似形の波形が認められた。IBP 波形にオーバーシュートが見られた場合にも、TBP には認められなかった。押圧によるプレチスモグラム上での血流障害、圧迫部位に局所の変化は認められず、疼痛などの訴えもなかった。

正常血圧群では bias は SAP で $-0.4 \pm 5.9 \text{ mmHg}$ (M \pm SD), MAP で $-0.1 \pm 4.7 \text{ mmHg}$, DAP で $0.0 \pm 5.4 \text{ mmHg}$ であった。Limits of agreement は SAP, MAP, DAP とも、ほぼ平均値 $\pm 11 \text{ mmHg}$ 以内であった。各血圧段階毎の bias は小さく、有意差はなかった。

低血圧麻酔群では bias は SAP で $-0.7 \pm 6.6 \text{ mmHg}$ (M \pm SD), MAP で $0.7 \pm 5.0 \text{ mmHg}$, DAP で $2.8 \pm 5.8 \text{ mmHg}$ であった。Limits of agreement は SAP, MAP, DAP とも、ほぼ平均値は $\pm 13 \text{ mmHg}$ 以内であった。各血圧段階毎の bias は小さく有意差はなかった。

Ⅳ. 考 察

1) 原理および方法論: トノメトリ法による動脈血圧の測定原理は押圧により血管壁を平坦化すると、血管壁の局率半径は無限大となり、円周方向応力を無視でき、測定圧は血管内圧を直接反映する。このためには、①動脈は下から骨で支えられていること、②押圧は動脈壁を平坦化するが閉塞はしないこと、③動脈壁と皮膚の距離は動脈径に比べて小さく、無視できること、④動脈壁は理想的な膜様作用を示すこと、⑤センサは動脈平坦部の面積より小さく、その中心に位置すること、などの条件が必要となる。

原理的にはトノメトリ法は単一のトランスデューサによって圧測定が可能である。しかし、動脈壁に働く円周方向応力と周囲組織からの影響を完全に除去するには、トランスデューサの径と動脈の径の比が $0.10 \sim 0.25$ であることが必要である。今回の装置では、橈骨動脈の径を 2 mm と推定すると、この比は約 0.3 と条件を満足しない。そこで、より確実に安定した血圧値を得るために、オシロメトリック法による上腕部の血圧を校正値として用いた。

2) 臨床成績: 低血圧麻酔群の bias および limits of agreement の値は臨床麻酔上、許容範囲内であり、TBI は IBP に匹敵するものである。

TBP 波形は IBP 波形と相似形であり、急激な血圧変動時にもリアルタイムに追随しており、その信頼性、再現性には問題ない。本法は非観血的であり、動脈にカニューレを留意する必要がある。

ないので、合併症もなく、患者への負担も少ない。さらに、長時間使用しても神経や血管の損傷はなく、安全性、易使用性の点においても、観血的手法より有利である。また、TBPではIBPにみられるような血圧波形のオーバーシュートやなまりがなく、TBPの血圧波形の信頼性の高いことを示している。

本研究はトノメトリ法による非観血的、連続的動脈血圧測定法が従来の観血的手法に匹敵するものであることを示したものであり、その臨床的有用性は大きく、博士（医学）の学位に値するものと判断された。