原 著

超音波ドップラー血圧計による血流音モニターの有用性

奥村 敦, 二見智恵子, 若尾 義人, 渡辺 俊文
上地 正実, 中山 智宏, 高橋 貢

The Utility of the Ultrasound Doppler Blood Pressure Measurement
as a Monitor of Blood Flow Sound

Atsushi OKUMURA, Chieko FUTAMI, Yoshito WAKAO
Toshifumi WATANABE, Masami UECHI
Tomohiro NAKAYAMA and Mitugu TAKAHASHI

(平成4年5月11日受付/平成4年6月13日受理)

SUMMARY

Blood flow sound by using the ultrasound doppler sphygmomanometer in anesthetized dogs was evaluated on its usefulness to estimate peripheral circulation as well as blood pressure. Blood pressure by this unit was well correlated to that measured by invasive procedure. When the systolic blood pressure of the dog decreased to approximately 70 mmHg, the blood flow sound was not recorded. And when the blood pressure was within these ranges, the strength of blood flow sound seemed to be well correlated to the blood pressure. However, when the dog was in an unstable condition such as in the recovery phase, these parameters were not necessarily correlated. On the contrary, pattern of the blood flow sound was changed even when the blood pressure measured by the invasive procedure was stable. This fact may suggest the peripheral blood flow was changed during the long term anesthesia/surgery, thus the possibility of estimation of peripheral blood flow by monitoring blood flow sound may be indicated.

Key words : blood flow sound (血流音), invasive blood pressure (観血的血圧), non-invasive blood pressure (非観血的血圧), ultrasound doppler sphygmomanometer (超音波ドップラー血圧計)

はじめに

全身麻酔下においては、一般臨床所見および各種反射の有無と同時に、種々の観察装置を使用し

麻布大学外科第1講座 (神奈川県相模原市淵野辺
1-17-71, 〒229)

Laboratory of Veterinary Surgery 1, School of
Veterinary Medicine, Azabu University 1-17-71
Fuchinobe, Sagami-hara, Kanagawa 229, Japan

た細部に関する全身状態の把握を行うことが必要である。このうち、動脈圧のモニターは、麻酔深度の調節および麻酔中の心肺機能の変化を知るうえで極めて重要である。麻酔中の動脈圧測定法には、直接法および間接法がある¹⁾が、前者では血管内にカテーテルを留置しなければならないこと、操作が繁雑になること、さらに高価な測定機器が必要であることなどから、その応用は限定されて

いる。一方、後者では生体に侵襲を加えないことから臨床応用は極めて有用であるとされるが、獣医学分野では解剖学的な血管走行の相違あるいは被毛の存在から血圧の測定は困難であるとされていた^{4,6,9)}。しかしながら、1972年、Freundlich⁸⁾が超音波ドップラー法による非観血的な血圧測定を犬に用いて良好な成績を収めて以来、超音波ドップラー法による非観血的な血圧測定が評価され、これまで犬^{6,10,12,18)}および馬^{1,5,7,10)}に関する多くの成績が報告されている。

超音波ドップラーを応用した非観血的血圧測定法が評価された理由の1つとして、末梢循環動態の把握の有用性が考えられている。すなわち、末梢循環の変化は、生体全体に及ぼす影響を事前に反映している可能性が高く、末梢循環動態をモニターすることにより麻酔中における生体の状態を的確に把握することができると考えられる。したがって、超音波ドップラー血流計は血圧計として中枢の圧を反映するのみならず、ドップラー血流計より得られる血流音の変化を知ることにより、さらに末梢の血行動態を把握することができる利点を有していると考えられる。換言すれば、血流音と動脈圧、末梢血流速度ならびに血流量との関係を比較検討すれば、血流音の変化が外科手術時における麻酔中の生体機能の変化を直接反映すると考えられ、この意味から血流音のモニターとしての有用性の検討が必要とされる。

材料および方法

1. 超音波血圧計の精度

今回用いる超音波血圧計の有用性を検討するため、第一に実際の血圧との相関を検討した。

実験には雑種成犬6頭を用いた。硫酸アトロピン 0.025 mg/kg を投与後、100% 酸素を吸入させたのち、チオペンタール 25 mg/kg により導入を行いOF麻酔で維持した。その後、実験犬を仰臥位に保定し、右側前肢手根骨球直下を剪毛し、この部分に 5 MHz の超音波プローブ (T-005-4200 林電気) を装着した。この際、プローブと皮膚との密着性を維持するために、超音波ゼリーを塗布し、プローブは血流音が最も明瞭に聴取でき

Fig. 1 観血的血圧値と非観血的血圧値との関係
AOS=観血的血圧
IBP=非観血的血圧
観血的血圧と非観血的血圧の間には、高い相関が得られた。

る部位に固定した。次いで、股動脈より挿入した動脈血圧測定用カテーテルを腹大動脈に留置し、これを、ストレインゲージ圧トランスデューサーに接続して観血的血圧(収縮期圧)を測定した。

実験は、脱血群および開腹群の2つの条件下で行った。脱血群は各 control 値を測定したのち、頸動脈に挿入したカテーテルより約 45 ml/min の速度で動脈圧が 50~60 mmHg になるまで脱血を行い、その状態を 15~30 分間維持した。その後、頸動脈に留置したカテーテルより脱血量と同量の輸血を行い、輸血終了後 15~30 分間観察を行った。開腹群は control 値測定後、正中切開により開腹手術を行ったのち閉腹し、覚醒まで約 200 分間観察を行った。非観血的血圧の測定では、カフ内圧を血流音が消えるまで上昇させ、その後、徐々にカフ内圧を下げ最初に血流音が聴取された時点のカフ内圧を収縮期圧とした。

2. 超音波血圧計の血流音モニター

実験には雑種成犬4頭を用いた。前述と同様の方法で麻酔前処置を行った後、OF麻酔で維持し、超音波プローブとカフを装着し非観血的血圧を測定すると同時に、超音波血圧計のスピーカー部にダイナミックマイクロホンを設置し、血流音を集音して心音計を通じて血流波形を記録し、その面

Fig. 2-I, II 非観血的血圧と観血的血圧の関係

I = 脱血群 (上段) A = 総合, B ~ D は個々の実験例を示す

X 軸: 観血的動脈圧 (AOS), Y 軸: 非観血的血圧 (IBP)

II = 開腹群 (下段) A = 総合, B ~ D は個々の実験例を示す

X 軸: 観血的動脈圧 (AOS), Y 軸: 非観血的血圧 (IBP)

脱血群, 開腹群ともに非観血的血圧と観血的血圧の間に高い相関が得られた。

積を求めた。また、超音波ドップラー血流計によって最大血流速度および平均血流速度を記録した。腹大動脈に挿入したカテーテルより収縮期圧 (Aop), 拡張期圧 (Aod), 平均動脈圧 (Aom) を測定すると同時に、上腕動脈、電磁流量計プローブを装着して血流量の測定を行った。

実験群は、1と同様に脱血群と開腹群の2群である。脱血群は control 値測定後、25.3 ml/min, 36.7 ml/min の速度で脱血を行い、その後 20 ml/min で輸血を行った。開腹群は control 測定後、臍部から恥骨前縁まで下方正中切開により開腹を行い、その状態で 180 分間麻酔を維持した後、閉腹し測定を行った。この間、麻酔は常に第 3 期第 2 相を維持し 10 分ごとに測定を行った。

成 績

1. 超音波血圧計の測定値と観血的測定値との相関

実験開始前の control 時点での非観血的血圧値と観血的血圧値を比較した結果、観血的血圧値は 113~180 mmHg, 平均 135.5 ± 21.4 mmHg, 非観血的血圧値は、108~180 mmHg, 平均 139.7 ± 26.2 mmHg であり、回帰直線は $Y = 22.36 + 1.13X$, $r = 0.99$ であった (Fig. 1)。

脱血群における観血的血圧値と非観血的血圧値の相関関係について検討した結果、80 mmHg 以下の低血圧状態下においても両者間に大きな差異は認められず $Y = 1.03X + 0.19$, 相関係数 $r = 0.97$ と極めて良好な相関を示した (Fig. 2-I)。

開腹群における観血的血圧値と非観血的血圧値の相関関係について検討した結果、Fig. 2-II に示したごとく、開腹後、長時間経過に対する両者の差は control 値に比較して大きな変化は認められず、 $Y = 0.86X + 13.5$, $r = 0.89$ の値を示した。

2. 血流音と各パラメータの関係

脱血群では血流音は脱血開始より徐々に減弱し、脱血終了時には、0.36 および 0.09 となった。特に観血的血圧で収縮期圧が、71.0 および 74.3 mmHg, 拡張期血圧が 46.5 および 46.7 mmHg, ならびに平均血圧が 54.7 および 55.9 mmHg と低下するに伴い血流音のが聴取が困難

Fig. 3 血流音と各パラメーターの変化

上段＝脱血群 下段＝開腹群
血流者の減弱に伴って血圧値が変化し、とくに血圧値が 50 mmHg では血流者の消失がみとめられる (上段)。長時間麻酔による開腹群では (下段)、長時間麻酔により血流音に変化し、同時に血圧低下がみとめられる。

となった (Fig. 3)。

開腹群においては、時間の経過とともに血流音はしだいに静脈血流音に近い音に移行し、血流音波形の面積は増大した。測定が可能であった最終時点の血流音は、1.41 および 2.25 であった (Fig. 3)。さらに、生体不安定期においては、麻酔深度の増強に伴って血流音は一旦増大し 1.31 および 1.13 となったが、その後覚醒段階では、0.89 および 0.63 と減弱した。

血流音と各パラメーターとの関係を検討した結果、非観血的血圧と血流音との間には、全体として、 $r = 0.65$ ($P < 0.01$) と正の相関が認められた。すなわち各群別に観察した場合、脱血群では $r = 0.79$ ($P < 0.01$) と正の相関が認められたが、開腹群の生体不安定期においては $r = -0.84$ ($P < 0.01$) と高い負の相関が認められた。しかし、生

体安定期においては、相関は認められなかった (Fig. 4-I)。

観血的に求めた観血群は、 $r=0.78$ ($P<0.01$)、 $r=0.82$ ($P<0.01$) および $r=0.80$ ($P<0.01$) と高い相関が認められた (Fig. 4-II)。しかし、開腹群においては、生体安定期には相関は認められなかったものの生体不安定期においては、 $r=-0.85$ ($P<0.01$)、 $r=-0.83$ ($P<0.01$) および $r=-0.85$ ($P<0.01$) といずれも高い負の相関を示した。

脈圧と血流音との相関は、脱血群において $r=0.54$ ($P<0.01$) と低い、開腹群の生体安定期においては $r=0.71$ ($P<0.01$) と高い相関を示した。

最高血流速度と血流音との間には、脱血群において $r=0.75$ ($P<0.01$)、開腹群の生体安定期では $r=0.63$ ($P<0.01$)、開腹群の生体不安定期では、 $r=0.53$ ($P<0.01$) と比較的高い相関が得られた (Fig. 5-I)。平均血流速度の場合では、脱血群において $r=0.63$ ($P<0.01$)、開腹群の生体安定期では $r=0.90$ ($P<0.01$)、開腹群の生体不安定期では、 $r=0.87$ ($P<0.01$) と高い相関が得られた。血流量と血流音との相関係数は、全体としては 0.54 ($P<0.01$) であったが、各群別では脱血群において $r=0.67$ ($P<0.01$) を示したが、開腹群には、両期ともに相関は認められなかった (Fig. 5-II)。

考 察

獣医学の分野では、四肢の解剖学的特徴から間接法による血圧の測定は困難であるとされていた^{4,6,9)}。しかしながら、1972年超音波ドップラー血圧計が開発され、動物においても非観血的に血圧測定が可能となって以来、獣医臨床の分野においても麻酔中のモニターとして間接法による血圧測定が活用されるようになってきた。

これまで、犬においてこの超音波ドップラー血圧計を利用した非間接的血圧測定法を適用し、良好な成績を収めた報告が多くみられる^{6,10,12,13)}が、本来、超音波ドップラー血圧計は、血流計を応用した方法であり、血流信号を血流音として連続的

に聴取することができる¹¹⁾。この血流信号は、血管内の血球の運動速度に比例して変化することから¹¹⁾、血流音も血流の変化にともない変化する。

今回我々は、麻酔中の末梢循環モニターとして、超音波ドップラー血流計より連続的に得られる血流音に着目し、麻酔下の犬において血流音と末梢動態の指標である血圧、血流速度ならびに血流量との関係を比較し、血流音モニターとしての有用性について検討を加えた。

この目的を遂行するためには、初めに超音波ドップラー血圧計の精度を検討し、麻酔中のモニターとしての有用性を確認することが必要であることから、OF 麻酔下において2つの条件で非観血的血圧測定法の信頼性について検討した。

脱血一輪血群および長時間麻酔群における検討では、両条件下ともに非観血的血圧値と観血的血圧値の相関は極めて良好であり、超音波ドップラー血圧計を用いることによって、非観血的に正確な血圧測定が可能であることが確認された。

次に血流音のモニターとしての有用性に関しては、血流音は脱血により血圧が低下するに伴って、聴取が困難となったが、このような状態下においても両者間の圧差には大きな相違は認められなかった。このことは低血圧時における超音波ドップラー血圧計による非観血的な血圧測定法の有用性を示唆するものであった。

今回の実験において、脱血により低血圧が誘引された場合、血流音も同時に減弱し聴取困難になったことは、血流量減少による末梢血管の収縮に起因するものと考えられ、末梢循環の指標として血流音のモニターが極めて重要であることを示したものと考えられた。

すなわち、脱血を行い、収縮期血圧が約 70 mmHg、拡張期血圧が約 40 mmHg、平均血圧が約 50 mmHg に低下した時点で、血流音が聴取困難となると同時に血流速度、血流量も激減していることから考え、前肢の末梢循環は著しく抑制されていると考えられた。

一方、実際の外科手術に近い形を作出して長時間麻酔を維持し、この間の血流音を観察した結果では、時間の経過とともに血流音が増大した。そ

Fig. 4- I, II 非観血的血圧（上段）および観血的血圧（下段）血流者との関係

I（上段）：IBP＝非観血的血圧；BS＝血流音

A＝総合；B＝脱血群；C＝開腹群（生体安定期）；D＝開腹群（生体不安定期）

II（下段）：脱血群における非観血的血圧と観血的血圧との関係

A＝収縮期；B＝拡張期；C＝平均血圧

BS＝血流音；Aos＝収縮期血圧；Aod＝拡張期血圧；Aom＝平均血圧

開腹群の生体安定期には相関はみられないが、生体不安定期には高い負の相関がみられた（上段）。血圧の上昇に伴い血流音の増強が観察された（下段）。

Fig. 5- I, II 図最高血流速度（上段）および血流量（下段）と血流音との相関

I（上段）：VP＝最高血流速度；PS＝血流音；A＝総合；B＝脱血群；C＝開腹群（生体安定期）；D＝開腹群（生体不安定期）

II（下段）：BF＝血流量；BS＝血流音；A＝総合；B＝脱血群；C＝開腹群（生体安定期）；D＝開腹群（生体不安定期）

血流速度の上昇に伴って各群ともに血流音の増強がみられたが（上段），血流量と血流音との関係では脱血群にのみ正の相関がみられた（下段）。

の変化の様相は、control 時には、1 心拍毎に聴取された明瞭な血流音が徐々に不明瞭となり、最終的には静脈性の持続音に変化した。この時、血流速度も時間の経過とともに増大した。Matsuo らによると⁸⁾ 正常人の表在の動脈より得られる血流速度波形は、収縮期の 2 つのピークを持ち、最初の山は 2 番目の山よりも大きいという。Felix らの報告では²⁾、犬においても同様の 2 もしくは 3 峰性の波計が得られるとしている。今回の実験においても、control の時点では、同様の 2 峰性の血流速度波形が得られたことから、末梢動態は正常であったと推察された。しかしながら麻酔を長時間維持するに伴って静脈性の血流音に変化したことは、麻酔によって血管運動中枢が抑制され、また体温の低下によって末梢血管のコンプライアンスが低下し、血管の弾力性が低下した結果、引き起こされたものと推察された。

これらの成績から、長時間麻酔時では血圧に異常が認められない状態においても、末梢動態は徐々に変化していると考えられ、この変化を血流音が十分に捉えられていることが示唆されたことから、長時間麻酔中の末梢循環のモニターとしても血流音の聴取が有効であることが判明した。

以上のごとく、生体の安定時には、血流音は末梢循環を反映する指標として有効であることが示唆された。血圧では推察されない末梢循環の変化を捉えることができると思われた。しかしながら、生体機能が不安定な場合には、血圧との関係は必ずしも比例的であるとは限らず、種々の状況下に対してそれぞれ特有な変化を示すことがわかった。すなわち状況の変化に伴って、全く正反対の変化を示すこともあることが示唆されたことから考え、血流音は、麻酔モニターとして十分活用できるが、ショック時あるいは覚醒時などの生体が不安定な場合には血流音の変化から血圧値を推定することが困難であると考えられた。換言すれば血流音に変化した時点では、末梢循環に何らかの異常が生じているものと判断すると同時に、血圧をチェックする必要があると考えられた。

要 約

超音波ドップラー血圧計による血流音のモニターの有用性を麻酔および手術下の犬を用いて検討した。この装置による非観血的血圧測定値は、観血的測定値と良く相関した。血流音は平均血圧が約 70mmHg になると聴取不可能となったが、この範囲内ではその強さと血圧の測定値と良く相関するように思われた。しかし、麻酔覚醒期などの動物の不安定な状態下では、必ずしも良好な相関関係は得られなかった。一方、血流音のパターンと末梢循環についてみると、平圧がほぼ一定している場合にも血流音パターンの変化が認められた。このことは血流音が末梢循環動態の変化をより良く反映する可能性を示唆するものであった。

文 献

- 1) Coffman, J.R., Garner, H.E. and Hahn, A.W. (1972) : Characterization of refractory iainitis. Am. Assoc. Equine Proc. 18 : 351.
- 2) Felix, R.W. Jr., Sigel, B., Gibson, R.J., Williams, J., Popky, G.L., Edelstein, G.L. and Justin, J.R. (1976) : Pulsed doppler ultrasound detection of flow disturbances in arteiosclerosis. J.C.U. 4 : 275-282.
- 3) Freundlich, J.J. (1972) : Indirect blood pressure determination by the ultrasonic doppler technique in dogs. Curr. Ther. Res. Clin. Exp. 14 : 73-80.
- 4) Garner, H.E., Coffman, J.R. and Coffman, J.R. (1972) : Indirect blood pressure measurement in the horse. Am. Assoc. Equine Proc. 18 : 343-349.
- 4) Garner, E.H., Hahn, W.A., Hartley, W.J., Hutcheson, P.D. and Coffman, R.J. (1975) : Indirect blood pressure measurement in the dog. Lab. Anim. Sci. 25 : 197-202.
- 5) 獣医麻酔外科学会編(1989) : 獣医麻酔の基

- 礎と実際, pp. 104-105 学窓社, 東京
- 6) 井島 宏, 堀原 一(1977) : 心臓性ショック (IV) 心拍出量のモニター, 呼と循, 25 : 582.
- 8) Matsuo, H., Nimura, Y., Kitabatake, A. and Hayashi, T. (1973) : Analysis of flow patterns in blood vessels with the directional ultrasonic doppler technique through a transcutaneous approach. Jpn. Circ. J. 37 : 735-746.
- 9) Simeone, A.F. (1963) : Shock, trauma and the sugeon. Ann. Surg. 158 : 759-774.
- 10) 菅井直介 (1975) : 麻酔と心機能, 呼と循 23 : 480-488.
- 11) 樽見千利, 森 晶弘, 増田 裕(1986) : イヌの非観血的血圧測定法. 無麻酔犬における測定方法の確立. 日獣会誌 39 : 103-106.
- 12) Weiser, G.M., Spangler, L.W. and Gribble, H.D. (1977) : Blood pressure measurement in the dog. JAVMA 171 : 364-368.
- 13) 山村秀夫 (1977) : 臨床麻酔学, 医歯薬出版, 東京.