

橈骨動脈における血圧測定の問題点

郷 律子* 斎藤隆雄* 木村英之**
 近藤明男** 樋口精一** 加藤逸夫***

現在、血圧測定用の機器には、多種多様なものが市販されている。Riva-Rocci 法、いわゆる聴診法を原理としたものが一般に用いられてきたが、これとは起源の異なる振動法を利用した自動血圧計が普及し、手術室のみならず広く医療現場で使用されるようになった。振動法とは、マンシエットを上腕その他にまき、内圧を収縮期圧をこえるまであげ、徐々に減圧していくと、マンシエット内圧において動脈拍動にともなう規則的な振動が発生するが、この振動の振幅が急激に増大する点、最大となる点、急速に減衰する点がそれぞれ収縮期血圧、平均血圧、拡張期血圧に相当するというものである¹⁾。血管の外圧が内圧と等しくなったとき、血管壁は最もフリーに動き得るといふ現象を原理としている。聴診法と振動法は特別なテクニックを必要とせず、手軽ではあるが、一回の測定に数十秒を要することと、脈圧が極端に低下すると測定不能となるため、血圧の変動の激しい手術にはしばしば観血的に動脈内圧が測定されている。このときカテーテルを留置する血管としては、穿刺が容易で側副血行があるという点で、橈骨動脈が最も多く選択される。しかしこの動脈の圧をそのまま血圧とし、これを指標に全身管理を行なう事はさまざまな問題を含んでいる。我々は、2種の実験を行ない、その結果からこの問題を検討した。

麻酔中の成人患者33名を対象とし、一側の上腕に自動血圧計のマンシエットをまき、マンシエットのコネクター部にY管を挿入して水銀注に接続

し、上腕動脈の拍動部には聴診器を装着した。麻酔導入前又は導入後同側の橈骨動脈に22ゲージのテフロン針を留置し、動脈圧測定用回路に接続した。回路の構成は、11 cm 硬性カテーテル、スーパードーム、スペクトラメド社製トランスデューサなどからなり、圧波形はポリグラフシステムに入力して記録した。システムの固有振動数は 56 Hz、ダンピング係数は0.125であり、適性域²⁾にある事を確認したが、測定中はこれら dynamic response の測定は行なわなかった。自動血圧計にて血圧を測定し、マンシエットが脱気される間のコロトコフ音を聴取しながら水銀注をよむことにより振動法と聴診法を1つのマンシエットで行った。上腕の圧迫で圧波形が消失する直前の橈骨動脈圧をペーパー上で読み取ることで、3法による圧測定を同時に行った。なお呼吸性の変動があるときは呼気時と吸気時の平均を取り、波形の消失前後で差があるときもその平均を取った。なるべく広い範囲の血圧から測定を行なうこととし、総サンプル数1404組、一人あたり平均43組のサンプルを得た。このサンプルを、観血法の測定値で20 mmHg 毎のレベル別にわけ、それぞれのレベルで測定値の差を求めた(図1)。図1 aは、観血法と振動法の収縮期血圧を比較したもので、縦軸は橈骨動脈圧(観血法)－上腕動脈圧(振動法)である。血圧が高いほど橈骨動脈圧は上腕動脈圧より高く測定され、低いレベルでは逆に橈骨動脈圧が低く測定される。図1 bは観血法と聴診法の収縮期血圧の比較であるが、振動法との比較と同様の傾向があることが明らかである。図1 cは振動法と聴診法との比較であるが、血圧のレベルによる一定の傾向はない。わずかに振動法が高くなっているが、これは、人の耳ではコロトコフ音を

*徳島大学医学部附属病院麻酔科

**同 手術部

***同 心臓血管外科

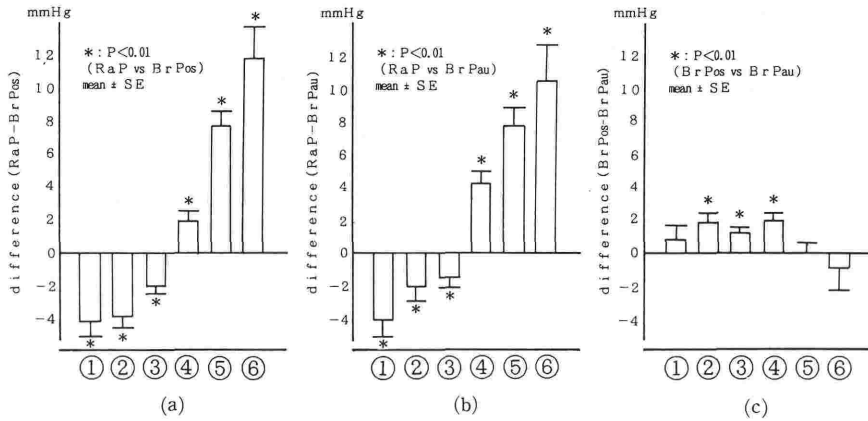


図1 測定方法の相違によるレベル別収縮期血圧測定値の差 (説明本文)

- | | | |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| RaP: 観血的桡骨動脈圧 | ① RaP < 90 | ④ 130 ≤ RaP < 150 |
| BrPos: 振動法による上腕動脈圧 | ② 90 ≤ RaP < 110 | ⑤ 150 ≤ RaP < 170 |
| BrPau: 聴診法による上腕動脈圧 | ③ 110 ≤ RaP < 130 | ⑥ 170 ≤ RaP |

聞き取れないほどのレベルで振動の振幅が立ち上がるといような現象が考えられる。

以上のように血圧をレベル別に比較することで得られた2つの現象を考察する。まず高いレベルで桡骨動脈圧が上腕動脈圧より高くなる原因として、以下のようなことが考えられる。

血管系そのものの有する特性として、

①反射 細動脈レベルで血管のインピーダンスが急激に増大するため、その直前では末梢からの逆行波(反射波)が入力波に加わるという現象³⁾⁴⁾であり、これが最も大きな因子と思われる。

②増幅 次第に細くなる管を圧波が進むと増幅されるという現象⁴⁾

③共鳴 脈波はある基本周波数とその高調波よりなる一連の正弦波群より構成されており、動脈系はいずれかの周波数に共鳴して他の周波数は減衰されるという現象⁴⁾

④周波数の高い脈波成分(血圧が高いとき圧波形の周波数は高く、脈拍数が増加するとなお高くなる)は低い成分より伝播速度が早いという性質から、先を行く圧波へ追いついていき、打ち寄せる波が次第に高くなるように振幅が増大していくという現象⁴⁾⁵⁾等である。

また測定技術面の要素としては、室温の変化から微小気泡が生じるなどして測定システムのdynamic responseが変化し固有振動数が低下したために、これに一致した圧波形の周波数成分のゲインが高くなり、より高く測定される⁶⁾という

ケースも考えられる。

低い血圧のレベルで桡骨動脈圧が上腕動脈圧より低くなる原因としては以下のようなことが考えられる。

①末梢血管抵抗が低下することにより、末梢からの逆行波が消失する。

②前腕の血管床の拡張により血流が散開し、上腕動脈の内径では桡骨動脈圧を維持するに足る血流量を桡骨動脈に供給できなくなる⁷⁾。

③血管内圧が低下して弛緩した血管壁で脈波がダンピングされる現象⁵⁾。

④動脈が分岐する部位では圧波の減衰が起きるとい現象⁵⁾。

⑤桡骨動脈圧の測定部位の中樞に狭窄がある場合も低くなる。ここでは供覧しないが、本実験の患者を正常群と動脈硬化群に分けて処理すると、動脈硬化群の方がよりひくく測定されるという結果もでている⁸⁾。

⑥桡骨動脈全体が非常にspasticになった状態でも末梢の圧は低くなると思像されるが、一般的な低血圧状態の時にはたして桡骨動脈に穿刺時のようなスパズムが生じるものだろうか。ショック時に脈が触れにくくなるのは主として脈圧が低下するためであるとされており、収縮するのはさらに末梢の抵抗血管であってむしろ桡骨動脈の壁は内圧が低いために弛緩していることの方が多いと考えられる⁵⁾。

いずれにしても、今まで述べてきたような様々

な要因が相互に関係しあった結果として血管内の圧差は生じてくるのであって、単一の要因によってのみ圧差やその変化が規定されるものでないことはいうまでもない。同時に、同じ圧差であってもそれを生じさせた患者の循環動態も千差万別であるということもいえる。

次に、橈骨動脈圧が実際の血圧より異常に低く測定される状態として最近話題になることのある、人工心肺離脱時の血圧測定について検討した。

対象は成人心臓手術患者10名で、麻酔はフェンタニール約 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、クロルプロマジン 1~2 mg/kg で行なった。一側の上肢で観血的橈骨動脈圧と振動法による上腕動脈圧の同時測定を先の実験の要領にて行なった。又、執刀医に依頼して、上行大動脈へ送血管挿入後その末梢にテフロン針を、上行大動脈の側圧を測定できるような角度で刺入、固定してもらい、観血的上行大動脈圧を測定した。これら3種の圧測定とほぼ同時に thermo-dilution catheter による心拍出量、中心静脈圧、ヘモグロビン、深部体温計による測定側の手掌温と前額部の中枢温、を測定した。測定は、執刀前、人工心肺回転直前、心肺回転中、心肺離脱直後、離脱1時間後、離脱3~4時間後(ICU にて)の6回行なった。不整脈や心内シャントのある場合のデータは除いた。こうして得られたデータから、収縮期の橈骨動脈圧-上腕動脈圧の

値と全末梢血管抵抗 (SVR) との相関関係を計算した(図2)。SVRの計算には、大動脈圧もしくは上腕動脈圧を用いた。図の横軸が橈骨動脈圧-上腕動脈圧であり、0を中心として右は橈骨動脈圧が高く、左は上腕動脈圧が高いということになる。●は人工心肺前であり、○は人工心肺後である。相関係数は0.47となり、値そのものは低い。危険率1%未満で有意な相関があるという結果となった。すなわち、SVRが低いほど橈骨動脈圧は上腕動脈圧より低くなる傾向にある。対象となった患者の末梢はおおむね心肺離脱後暖かく、低心拍出量症候群を疑われた症例はない。

さて、このような現象が起きることについて数年前よりいくつかの文献や学会発表において原因が推測されているが、私見をまじえて、ここにそれをまとめてみた。(表1)。深部体温計で中枢-末梢温度格差をモニターしていると、人工心肺が回転し始め脈圧が低下してくると急に温度格差が

表1 人工心肺離脱時に橈骨動脈圧が上腕動脈圧より低く測定される原因

①	末梢血管抵抗の異常な低下 組織の hypoxia 血管拡張薬 血液粘性の低下
②	弛緩した血管壁における脈波のダンピング
③	橈骨動脈の収縮(?)
④	上腕動脈から橈骨・尺骨動脈への bifurcation

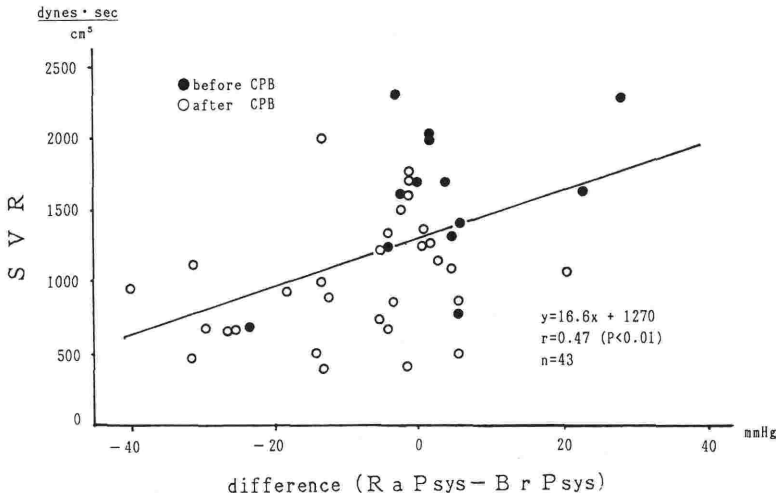


図2 心臓手術における収縮期の橈骨動脈圧(RaP)-上腕動脈圧(BrP) 圧較差と全末梢血管抵抗(SVR) との相関関係

減少してくることが往々にしてある。血管拡張薬によるところが大きい⁹⁾のは確かではあるが、それだけではない何かがかかっていると感じられる。

Stern ら¹⁰⁾は人工心肺離脱後に橈骨動脈圧が大動脈圧より異常に低く測定されることを指摘した。この論文のなかで、前腕の血管抵抗の低下が第一の原因として考えられるが、前腕血管抵抗(FVR)と圧格差との相関は低いとした。Pauca ら¹¹⁾は前腕より手の血管抵抗の低下が問題であると述べている。末梢血管抵抗の低下によって、橈骨動脈圧が低く測定される理由については先に述べたような機序(逆行波の消失、血流の散開)が考えられる。さらに、なぜそのように血管抵抗が低下するかについて、Gllen ら⁷⁾は、人工心肺中に持続的な組織の hypoxia が生じているために、反応性充血(動脈を遮断した後再灌流した時に生じる血管拡張)に似た状態となっているのではないかと述べている。血管が拡張しているにもかかわらず hypoxia となるというのは理解に苦しむところであるが、Pauca らは A-V shunt の可能性を指摘している¹²⁾。

第2に、Poiseuille の法則からは血管内径以外に血管抵抗に影響を与える因子として、希釈による血液粘性の低下をあげることができる。図3は犬を使った実験(自験例)であるが、左が上行大動脈圧、右が橈骨動脈圧である。詳細は省略するが、徐々に脱血すると同時に低分子デキストランを輸液することにより血液を希釈し、そのうえ dipyridamole を用いて抵抗血管を拡張させる。③と⑤では大動脈圧はほぼ同じであるが、Hb が5.8と極端に低下すると大動脈圧と橈骨動脈圧が逆転してくる。橈骨動脈はカニューレションしたところで結紮してあるので、橈骨動脈以外の血管床への血流の散開が原因と思われる。

また、上腕動脈から橈骨動脈・尺骨動脈への bifurcation において、圧が急に減衰する現象が認められた。図4は、人工心肺離脱時に上腕動脈圧と橈骨動脈圧の差が 10 mmHg 以上あった4症例の収縮期血圧の推移を示した図である。人工心肺離脱直後、大動脈圧より上腕動脈圧がわずかに高くなっており上腕動脈から橈骨動脈に到って急に低くなるのである。単に末梢血管抵抗が低下することによって末梢の圧が低くなるのであれば、大動脈圧が最も高くなるはずである。bifurcation での逆行波が上腕動脈圧に重畳していると考えることができ、bifurcation において圧波は急に減衰されるのではないか。しかし生理的には、大動脈より分岐した後の大腿動脈圧が大動脈圧より高いことを考えると、単に bifurcate するというもののみならず、血管内径の変化など他の解剖学的要素もからんでいるのかもしれない。また測定方法が一律でないので、振動法による測定値が実際は観血的測定値より高くなるといった現象も否定し得ないが、側副血行のない上腕動脈にカニューレションすることは禁忌と考えられるのでこれを確認することはできなかった。カニューレションによって血流が障害されると橈骨動脈圧の評価に支障を来すとも考えられた。

さて話題は変わるが、最近非観血的に一心拍毎の血管内圧を real time にモニターする機器が数社から市販され、臨床で使用できるようになり、使用経験の報告も数多くみられる。このような機器の信頼性を論じる際、今まで多く行なわれてきた方法は、観血的橈骨動脈圧と同時に、広い

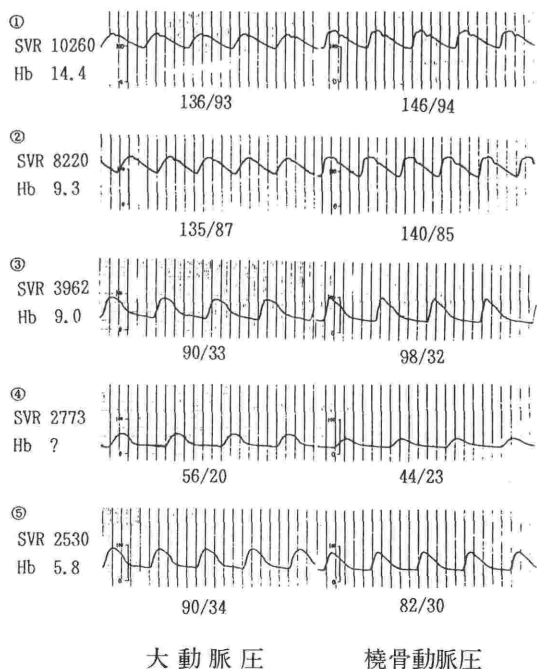


図3 血液希釈による血管内圧の変化
 一 大動脈圧と橈骨動脈圧の比較 (イヌ)
 ② 低分子デキストラン輸液と脱血による希釈
 ③～⑤ 希釈+dipyridamole による血管拡張

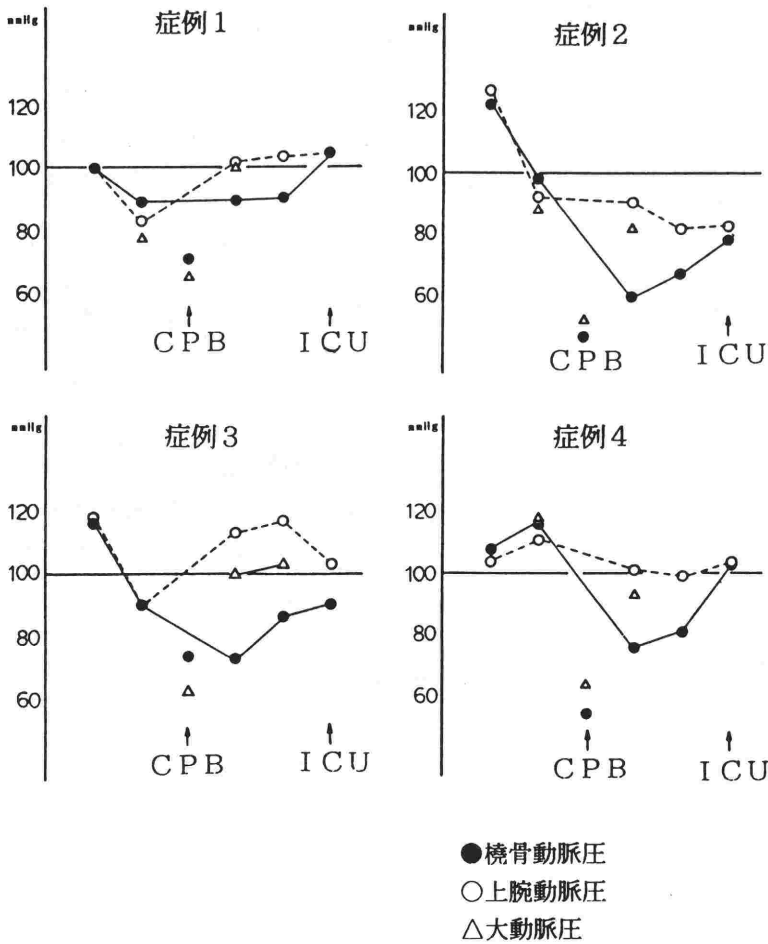


図4 心臓手術症例の血圧測定値の推移
人工心肺離脱直後大動脈圧より上腕動脈圧が高くなっており、橈骨動脈は最も低い。後2者は人工心肺離脱数時間後接近してくる。

範囲にわたってデータを採取して相関係数を求めるというものである。しかし今まで述べてきたように橈骨動脈圧を血圧とするには問題があり、特に異常な血圧ほど大動脈に近い部位で測定した値と比較する必要があると思われる。又、論点から少々逸れるが、相関係数と同様に重要なのは回帰直線の傾きであるということが以外と認識されていないように思われる。血圧というひとつの対象を2方法で測定して得られた値を比較するのであるから、いくら相関係数が1に近くとも傾きが1に近似していなければ2方法の値が一致するとは言えない。

今回このような非観血的連続血圧測定装置を心臓手術に使用して、得られた知見を供覧する。図5は、光プレシモグラムを応用した指にカフを

まくタイプの装置で得られた波形である。測定原理¹³⁾は省略するが、カフをまいた部位の血管内圧を測定する。波形が少々異なるのは部位が違うのでやむをえないが、印象としてはこれまでの報告どおり変化は橈骨動脈圧によく一致する(図5a)。ごくわずかな血管の振動があれば測定可能で、人工心肺中でも橈骨動脈圧を忠実に再現する(図5b)。人工心肺離脱時は、橈骨動脈圧波形と同様にダンピングされたような波形となっており、値も橈骨動脈圧同様異常に低く、橈骨動脈圧が大動脈圧と解離するときには問題がある。普通の手術でも、高血圧時や低血圧麻酔の際には注意が必要と思われる。最初に述べた実験の結果から、この装置による測定値は、低血圧時には実際の血圧より低くなり、高血圧時にはより高くなる事が

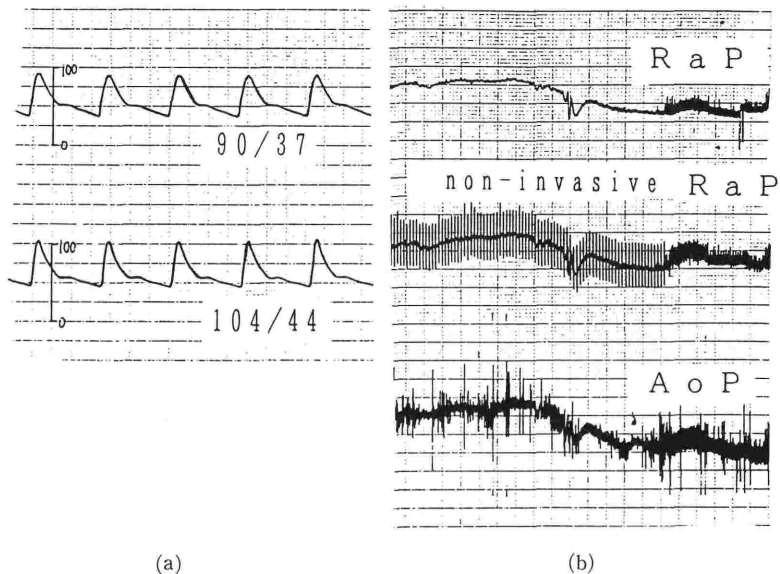


図5 光プレチスモグラムによる非観血的連続血圧監視装置の心臓手術における波形

- a : 人工心肺前 上段：観血的橈骨動脈圧
- 中段：非観血的動脈圧 (aは下段)
- b : 人工心肺中 下段：観血的上行大動脈圧

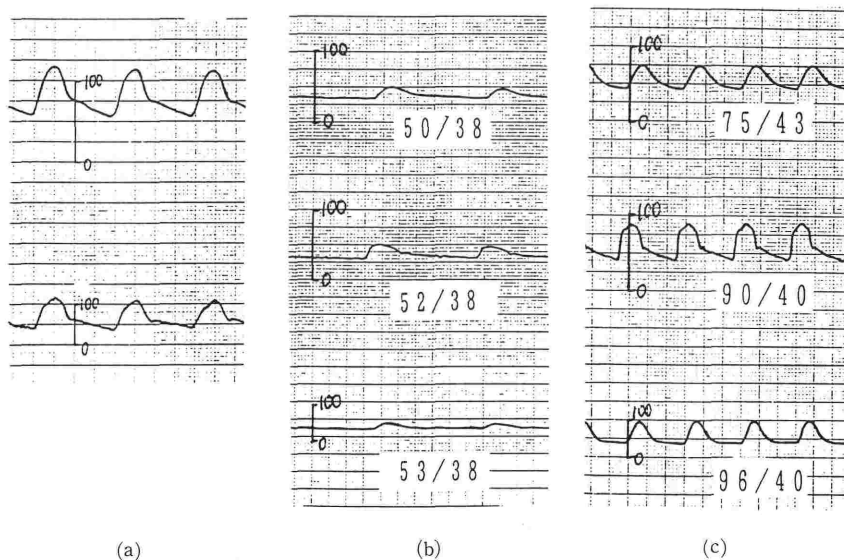


図6 トノメトリ法による非観血的連続血圧監視装置の心臓手術における波形

- a : 人工心肺前 上段：観血的橈骨動脈圧
- 中段：観血的上行大動脈圧
- b : 人工心肺中 下段：非観血的橈骨動脈(?) 圧
- c : 人工心肺後

あるだろうと推測される。それによって患者が危険にさらされるというのではなく、むしろ血圧の変化を誇張して表示していると考えればこの装置の有用性を損ねる程の欠点ではない。しかし表示された測定値が必ずしも血圧に一致するとはかぎらないというごとを麻酔医が認識した上で使用することが必要であり、例えば低血圧麻酔を行なっているつもりが、実はあまり血圧が下がっていなかったということも起こるだろうし、循環動態のデータをとる際にも不都合が生じると考えられる。

図6はトノメトリ法¹⁴⁾によるもので、圧波形を橈骨動脈にあてたトランスデューサより得、その振幅は反対側の上腕で振動法によって得た値で較正するというタイプの装置である。正常な血圧の時には橈骨動脈圧とよく一致する。これは取りも治さず上腕動脈圧と橈骨動脈圧が近似している状態であるといえる(図6 a)。人工心肺が回転し始め、血圧が低下すると、マンシエットで上腕動脈圧を測定できなくなったため図6 bの直後測定不能となった。図6 cは脈圧が大きくなり上腕動脈圧と橈骨動脈圧が解離している状態の時の波形である。ポリグラフ上スケールが2分の1になっているので振幅が小さくみえるが、装置の画面上は橈骨動脈圧波形が縦に引き伸ばされたようになっており、測定値はむしろ上腕動脈圧に一致している。2種の装置を比較すると、マンシエットで測定できないようなショック状態でも測定できるという点で前者は有用であるが、末梢での測定であるために値そのものは血圧と解離している恐れがある。一方後者は、波形は末梢のものでも中枢で得た値で較正するためその危険を回避できるという利点がある。しかし、患者の体動や術者によるマンシエットの圧迫などでマンシエットによる測定に誤りが生ずると、次の較正までの間の値は信頼できなくなる。

上腕にまいたマンシエットに軽い圧をかけておき、内圧の変化を心拍毎にとらえて画面表示し、較正はそのマンシエットで振動法によって数分ごとに行なうというタイプのものも使用してみた。波形そのものは血管内圧を再現しているとはいいがたいが、波形も値もより中枢で得られるという点でこのタイプの装置は期待できる。

血圧のモニタリングの進歩はいかにして測るかという method の面でなされてきたが、何をもって血圧とするかという点にもっと注意がはらわれるべきである。最終的には臓器血流を保つということが血圧管理の目標であり、そのためには大動脈圧を測る必要がある。それが困難であるから他の動脈圧で代用しているという考え方が必要である。橈骨動脈にカニューレーションしたからといってマンシエットをはずしてしまっは、より正確に測る方法を放棄していることになる。モニタリング一般に言えることであるが、どのように進歩した機器であっても、示されたデータが本当に信頼し得るものかどうかを常に疑ってかかり、患者そのものから得られる情報と照らしあわせる姿勢を忘れてはならない。血圧測定に関して今後の課題としては、非観血的に、連続的に、に加えてより中枢で、という点が重要になると思われる。

文 献

- 1) 黒田善夫：オシレーション法による血圧計について。医器学 53：567-570, 1983.
- 2) Gardner, R. M.: Direct blood pressure measurement—dynamic response requirements. Anesthesiology 54:227-236, 1981.
- 3) Loubser, P. G.: Comparison of intra-arterial and automated oscillometric blood pressure measurement methods in post-operative hypertensive patients. Med. Instrum. 20:225-259, 1986.
- 4) Berne, R. M., Levy, M. N. (入内島十郎訳)：動脈系、心臓と血管の生理学。真興交易医書出版部、東京、84-85、1978年。
- 5) 後藤昌義：動脈脈波と脈流、循環生理学。朝倉書店、東京、283-305、1971年。
- 6) 渡辺広昭、櫻谷憲彦、今泉 均他：観血的血圧波形の歪みとその対策。ICU と CCU 10:153-157, 1986.
- 7) Glen, P. G., Anne, B. W., Thomas, G. A., et al.: A comparison of radial, brachial, and aortic pressures after cardiopulmonary bypass. J. Cardiothorac. Anesth. 3:20-26, 1989.
- 8) 郷 律子、斎藤隆雄、荒瀬友子他：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 36：189-196, 1988.
- 9) Horiguchi, R., Maruyama, K., Hashimoto, H., et al.: Comparison between pressures measured from the radial artery and femoral artery during cardiac surgery. 第8回日本循環制御医学会抄録集：186S, 1987.
- 10) Stern, D. H., Gerson, J. I., Allen, F. B., et al.: Can we trust the direct artery pressure immediately following cardiopulmonary bypass? Anesthesiology 62:557-561, 1985.
- 11) Pauca, A. L., Hudspeth, A. S., Wallenhaupt, S.

- L., et al.: Radial artery-to-aorta pressure difference after discontinuation of cardiopulmonary bypass. *Anesthesiology* 70:935-941, 1989.
- 12) Pauka, A. L., Meredith, J. W.: Possibility of A-V shunting upon cardiopulmonary bypass discontinuation. *Anesthesiology* 67:91-94, 1987.
- 13) Egmond, J. V., Hasenbos, M., Crul, J. F.: Invasive vs non-invasive measurement of arterial pressure. *Br. J. Anaesth.* 57:434-444, 1985.
- 14) Drzewiecki, G. M., Melbin, J., Noordergraaf, A.: Arterial tonometry: Review and analysis. *J. biomechanics* 16:141-152, 1983.