

### ヒト腕動脈内圧-径関係の非侵襲的計測の試み

## Feasibility study on non-invasive measurement for pressure-diameter relationship of human radial artery

○ 矢口俊之 (名工大), 武澤健司 (名工大), 長山和亮 (名工大),  
益田博之 (株ユネクス), 松本健郎 (名工大)

Toshiyuki YAGUCHI, Kenji TAKEZAWA, Kazuaki NAGAYAMA, Nagoya Institute of Technology  
Hiroshi MASUDA, UNEX Corporation  
Takeo MATSUMOTO, Nagoya Institute of Technology

**Abstract:** Mechanical properties of artery are highly non-linear and measurement within a physiological blood pressure range is not enough to know its mechanical properties in detail. To obtain its properties over a wide pressure range, pressure-diameter relationship was measured in a human radial artery by changing its extravascular pressure from -70 mmHg to 160 mmHg. A rigid airtight chamber with an ultrasound probe was attached to the forearm of a 22-year-old male to manipulate transmural pressure of the radial artery by changing the pressure in the chamber. Pressure-diameter curve of the artery was obtained by measuring the diameter change with the probe during transmural pressure manipulation. Thus obtained pressure-diameter curves showed strange behavior: blood vessel diameter decreased when transmural pressure was increased. This phenomenon disappeared after drinking 350 ml of beer with ethanol content of 5%. This suggests that the disappearance results from a decrease in smooth muscle contractility caused by ethanol. *In vivo* mechanical properties of blood vessels may be highly affected by smooth muscle contraction.

**Key Words:** Atherosclerosis, Smooth Muscle Cell, Bayliss Effect

### 1. 緒言

粥状動脈硬化症(以下, 動脈硬化)は心筋梗塞や脳梗塞などの誘因となり, 我々の健康に多面的で深刻な影響を及ぼす疾患である. この疾患では, 動脈内腔の狭窄・閉塞といった形態学的変化よりも, 血管の硬化や各種の刺激に対する血管の拡張・収縮応答能の低下といった機能的な変化が先行して生じる. 従って, 動脈力学特性の非侵襲計測は極めて重要である. そこで超音波などで一心周期中の血管径変化を計測し, これから力学特性を求める方法が多用されている. しかし, この方法では被検者の測定時の血圧レベルでの力学特性しか判らない. ところが動脈硬化は高圧領域から開始するという報告があり<sup>1)</sup>, 幅広い圧力領域の力学特性を知ることが重要と言える. そこで腕動脈を対象とし, 腕を外側から加減圧して血管壁内外の圧力差(経壁圧)を制御することで, 実効的に幅広い圧力範囲での血管の力学特性を計測できるのではないかと考えた. 本研究では, 簡易的な装置を試作し, その実施可能性を評価した.

### 2. 実験方法

#### 2-1 上腕部密閉容器

測定部位である前腕周囲の圧力を変化させることができるようにするために, アクリルおよびゴム板を用いて腕を入れるための密閉容器を作製した(Fig. 1). 中央に映っているのは超音波プローブで, 空気が漏れないように容器にはめ込んである. この容器内を加減圧するための圧力制御装置の概要を Fig. 2 に示す. 加減圧両用ポンプの陽圧側出力をエアフィルタを介して電空レギュレータ A に接続し, 陰圧側出力を直接, 電空レギュレータ B に接続した. それらの出力を 3 方向電磁弁 A で切り替えることで容器内の加圧・減圧を選択できるようにした. また容器内を瞬時に大気開放するために, 同型の電磁弁 B を取り付けた. 電空レギュレータへの入力電圧, 電磁弁の切り替えは, 試作装置パネル面に取付けたスイッチ類で手動操作した.



Fig. 1 An air-tight chamber developed in the present study.

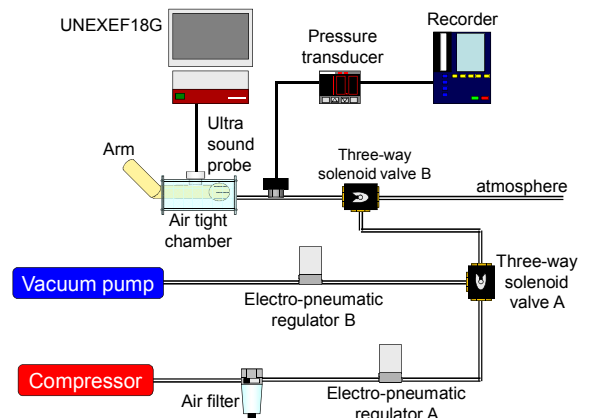


Fig. 2 Pneumatic circuit used in the present study.

#### 2-2 動脈径計測部

動脈径計測には, 超音波画像診断装置 (UNEXEF18G, ユネクス) の一部を用いた. 本診断装置は動脈の血流依存性血管拡張反応 (Flow mediated dilatation, FMD) を計測する装置であり. 心電図に同期して収縮期の超音波断層像な

らびに血管径を1心拍毎に時間と共に記録することができる。ここでは被検者の心電図を計測しながら、密閉容器に取付けられたプローブで橈骨動脈の超音波断面像を観察しつつ、圧力制御装置を操作して加減圧を行い、これに伴う血管断面像の変化を記録した。また、圧力は回路中につないだ圧力トランスデューサを用いて計測し、その出力をオシログラフィックレコーダで自動的に記録した。

### 3. 計測手順

#### 3-1 動脈内圧-血管径測定

被検者(22歳男子, 体重63kg, 身長176cm)の右腕ならびに左足に心電図計測用電極を取り付けた後, Fig. 1に示すようにアクリル容器に左前腕を入れ, 測定対象である橈骨動脈の超音波画像が鮮明に撮像できるようプローブ位置を調整した。そして一心拍ごとの動脈断面の超音波画像を超音波画像診断装置に記録しながら加減圧制御装置を操作し, 容器内の圧力をおよそ-70 mmHg~160 mmHgの範囲で20~30 mmHg刻み(陽圧), 70mmHg刻み(陰圧), 90秒間隔で段階的に変化させた。計測終了後, 記録したデータから, この段階的圧力変化直前の圧力値とその時の超音波画像における血管径を画像計測により求め, 内圧-径関係を決定した。陰圧負荷は制御系が不安定だったため, 1ステップで負荷した。

#### 3-2 アルコール摂取時の動脈内圧-血管径測定

血管平滑筋の能動的な収縮・拡張を一時的に低下させるため, 被検者がエタノール摂取後に同様の計測を行った。アルコール飲料(ビール350ml, アルコール分5%)を飲んでから30分後に計測を開始し, はじめに陰圧を負荷し, その後, 陽圧を負荷することを2回繰り返し計測した。

### 4. 結果および考察

陽圧負荷時と陰圧負荷時の血管径と負荷圧力との関係をそれぞれFig. 3, Fig. 4に示す。経壁圧=動脈圧-容器内負荷圧力であり負荷した圧力が高いほど経壁圧が低くなるので, Fig. 3, Fig. 4ともに縦軸は反転させて示した。

Fig. 3より, 計測後に収縮期圧を測定したところ125 mmHgであったので, 負荷した圧力125 mmHg付近で経壁圧がゼロになると考え, 図中に破線で示した。加圧時には, 圧力を負荷していくと血管は一旦拡張してから収縮し, 除荷していくと血管は拡張を開始し, 一旦オーバーシュートしてから元の径に近づいていくのが分かる。また負荷圧力50 mmHg付近で血管径が最大となり, それより高い圧では血管径が減少した。またFig. 4について, 減圧により血管径が10%程度拡張すること, また, 減圧の繰返しにより血管径は徐々に収縮する傾向が確認できた。

一般に血管は拡張させられると能動的に収縮し, 除荷されると逆に弛緩するという性質(Bayliss効果)を有しており, これらはその現象を捉えている可能性があるが, プローブのずれ, 超音波画像における血管径のトラッキング位置のずれなどによる誤差の可能性も考えられる。そこで, 次に, エタノールが平滑筋を弛緩させる<sup>2)</sup>ことを利用し, アルコール飲料摂取後に同様の計測を行った(Fig. 5)。これより, アルコール摂取後は, 摂取前(Figs. 3&4)と比較して血管径の変化が大きくなり, 一方で陰圧を加えたときの血管径変化は小さくなった。また陽圧を加えたとき, 通常の状態を確認された血管の能動的な径変化が顕著に現れず, 圧力を負荷していくと血管径はただちに減少し, また除荷していくと血管径は増加するだけであった。このことからFig. 3で見られた内圧-径関係の負の傾きは血管平滑筋の能動的

応答であったと考えられる。

今回は被験者が1人と少なく, 得られた結果が被験者特有の性質である可能性もあるのでデータ数を増やし結果の再現性を確認していく必要がある。そのためにも被験者の前腕の太さに柔軟に対応できるように密閉容器を改良し, また圧力制御系の安定化が必要であると考えられる。

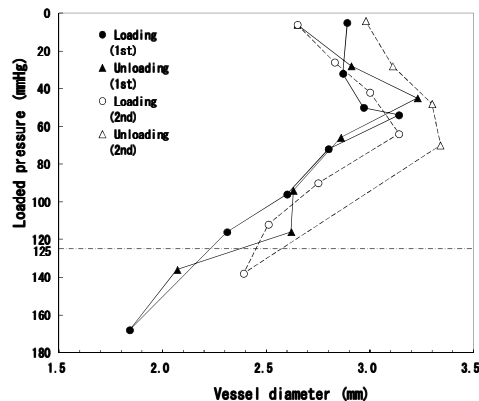


Fig. 3 Pressure-diameter relationship of a radial artery of a 22-year-old male during positive pressure loading/unloading.

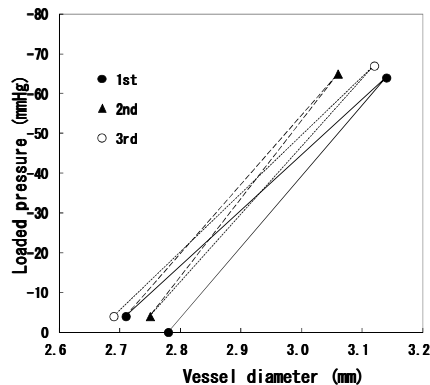


Fig. 4 Pressure-diameter relationship of a radial artery of a 22-year-old male during negative pressure loading/unloading.

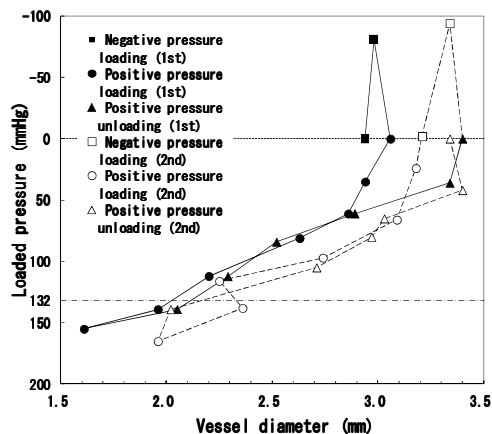


Fig. 5 Pressure-diameter relationship of a radial artery of a 22-year-old male during negative and positive pressure loading/unloading after alcohol ingestion.

### 参考文献

- (1) Richter HA, Mittermayer C: Biorheology 21-5, pp.723-34, 1984.
- (2) Spaak J et al: Am J Physiol: Heart Circ Physiol 294-2, pp.H605-612, 2008.