

# F15 超音波による生体頸動脈の力学的健全性評価システムについて

## A new system for estimating mechanical health of *in vivo* carotid artery using ultrasound images.

正 ○野方文雄（岐阜大・工），河村洋子（岐阜大・工），横田康成（岐阜大・工）  
丸山真以子（岐阜大学・院），小倉千明（岐阜大学・学部），  
森田浩之（岐阜大学・医），宇野嘉弘（岐阜大学・医），  
村上 惇（兵庫県立大・工），W. R. Walsh (UNSW, Australia)

Fumio NOGATA, Department of Human and Information Systems, Faculty of Engineering, Gifu University

Yoko KAWAMURA, Researcher of Faculty of Engineering, Gifu University

Yasunari YOKOTA, Department of Information Science, Faculty of Engineering, Gifu University

Maiko MARUYAMA, Graduate Student, Department of Human and Information Systems, Faculty of Engineering, Gifu University

Chiaki OGURA, Undergraduate Student, Department of Human and Information Systems, Faculty of Engineering, Gifu University

Astushi MURAKAMI, Faculty of Engineering, University of Hyogo,

Hiroyuki MORITA, Yoshihiro UNO, General Medicine, Gifu University Hospital,

W.R Walsh, University of New South Wales, Prince of Wales Hospital (Australia)

### 1. 緒言

わが国において脳血管疾患や心疾患による死因は全体の約 3 割を占め<sup>(1)</sup>，また要介護となる割合が高く医療費の増大は深刻である。当該原因の一つは動脈硬化である。動脈硬化の特徴は内中膜動脈壁厚 (IMT) の増加と組織・形態変化による力学的強度低下、局所的脂質沈着物（プラーク）による血流異常、進行による局所的梗塞などである。結果として、脳卒中や心筋梗塞などを引き起こす事が知られる。超音波装置を用いた動脈硬化検査法としては、動脈壁の壁厚を測定する周波数スペクトル法<sup>(2)</sup>，IMT 法<sup>(3)</sup>，また血管の動形的変形計測による血管弾性係数 Stiffness parameter  $\beta$ <sup>(4)</sup>， $E_p$ <sup>(5)</sup> などがあるが、これらのパラメータと引張強度との相関など力学的意味は今後の課題である。また、脈波伝播速度 (PWV) と動脈硬化を計測した装置が近年開発され市販されているが、振動源（心臓）と被計測血管（末梢血管）までの距離が大きいため計測値は対象とした血管長さの平均値である。また抹消部は複数の血管部が対象となり脈波伝播経路が特定されていないので定性的評価である。すなわち、局所的に生じる動脈硬化による血管破断の指標とはなりにくく、動脈硬化検査技術の確立までは至っていないのが現状である。現在、最も信頼性のある「頸動脈エコー検査法」は、頸動脈分岐近傍の超音波画像による形態的計測は 20~40 分ほどかかる二次的精密検査法である（労働者災害補償法による）。すなわち、青年時代から検査法として適用できる短時間動脈硬化計測法の確立が望まれている。

本研究は、頸動脈エコー像を用いた動脈の力学的健全性（動脈硬化）計測法<sup>(6)</sup>，血管強度との関係について検討した。また、システムの試作と複数の医療機関で臨床試験を行なった結果について報告する。

### 2 実験方法

#### 2.1 血管ステフネスの算出

動脈壁のステフネスは、これまでに提案されている数種類の式<sup>(7)</sup>について、引張試験と内圧試験によって比較検討した結果、次式が有効であることがわかった。

$$\text{周方向ステフネス} : E_{th} = \sigma / \varepsilon \quad \text{--- (1)}$$

$$\text{周方向応力} : \sigma = \Delta P (R_o^2 + R_i^2) / (R_o^2 - R_i^2)$$

$$\text{周方向ひずみ} : \varepsilon = \Delta R_o / R_o$$

ここで、 $\Delta P$ : 血圧差， $R_o$ : 血管外半径， $R_i$ : 血管内半径， $\Delta R_o = (R_o - R_i)$  である。

#### 2.2 引張試験と内圧試験による弾性係数比較

ウシ胸大動脈（去勢牛、生後 2 年半）の試験片（外径 34.9、内径 26.9、長さ 127mm）を生理食塩水中で内圧を徐々に負荷し随時、試験片の直径を計測し式 (1) よりステフネスを算出した。次に同試験片を切り開き板状引張試験片（68.6 × 22.5 × 2.6mm）として、弾性係数を求めた。動脈の外径計測は光学的にスクリーン上に拡大（約 10 倍）して行なった。同様に他の人工材を用いて考察した。

#### 2.3 超音波装置を用いたヒト総頸動脈の直径変化の測定および計測システムの試作

Fig. 1 はヒトの総頸動脈計測に用いた実験装置を示す。

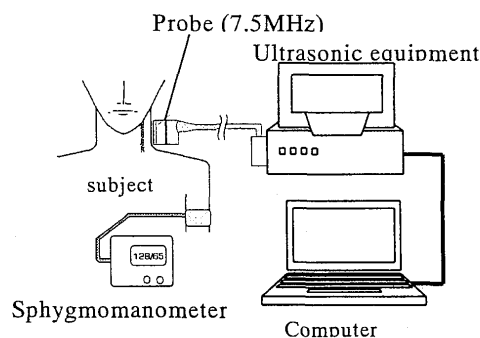


Fig.1 Experimental set-up for estimating mechanical health of common carotid artery in terms of *in vivo* stiffness,  $E_{th}$ .

被験者の首の周りに音響カップラーを塗布しプローブを通じ医用超音波装置のモニター上に総頸動脈の B モード縦断面画像、また B/M 像の横断面像をコンピュータに取り込み画像解析を行い血管径変化を測定し弾性係数を求めた。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 ウシ胸大動脈の弾性係数

Fig. 2 はウシ胸大動脈の引張試験および内圧負荷試験より得られた応力とひずみの関係を示す。正常血圧範囲 70~150 mmHg（周方向応力 0.05~0.20 MPa）においてウシ胸大動脈のステフネス  $E_{th}$  は、引張試験で 0.41MPa，内圧負荷試験では 0.42MPa であり良い対応関係にあることが

分かる。同様にゴム，シリコンゴム製チューブについて計測し，式(1)による  $E_{th}$  は，引張試験による弾性係数と等価であると認められ，動脈の力学的健全性を評価する有用なパラメータと考えた。

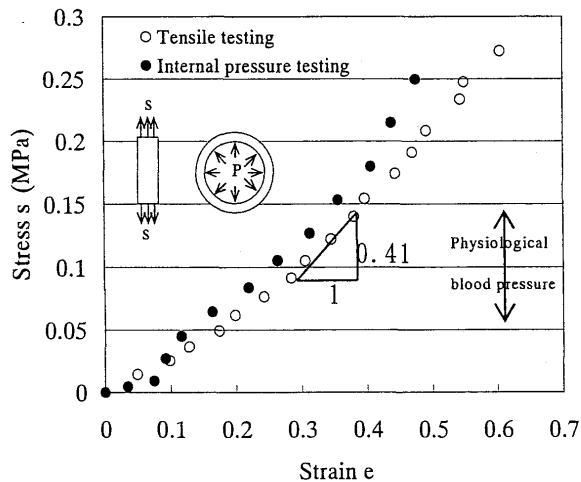


Fig.2 Relationship between stress and strain of ox thoracic aorta

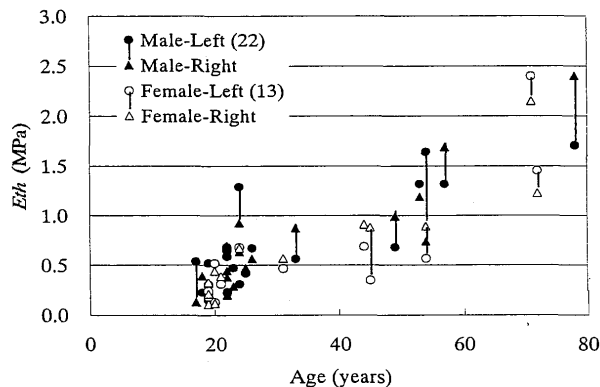


Fig. 3 Variations in  $E_{th}$  of right and left common carotid artery with age and sex.

### 3・2 左右頸動脈，および局所的ステフネスの計測

Fig. 3 は被験者の左右総頸動脈の  $E_{th}$  と年齢や性別との関係をまとめたものである。本図より，左右の総頸動脈  $E_{th}$  は高年齢になると男女とも増加する傾向があり，また高齢者ほど個人差が大きい。また，左右の  $E_{th}$  の差異は若年層にもみられた。右と左で，特定側のステフネスが高くなるという一貫性はなく個人に依存している事がわかる。すなわち，動脈硬化検査法としては左右の頸動脈について計測する必要がある。

Fig. 4 は，B/M モード画像を用い 5mm 間隔に局所的な  $E_{th}$  を計測したものである。本図によると 20 歳代では，いずれの計測位置においても  $E_{th}$  は一定であるが，高齢になると局所的な  $E_{th}$  の差異が大きい事がわかる。すなわち，動脈硬化は局所的に進行するのでこのような計測が重要である。本計測において明らかとなった事は， $E_{th}$  指標が IMT 値の増加やプラークの存在が認められる前段階の初期的動脈硬化に関連しており青年時からの検査法として有用性である。

### 4. 結言

超音波 B モードおよび M モード画像による動脈変形と

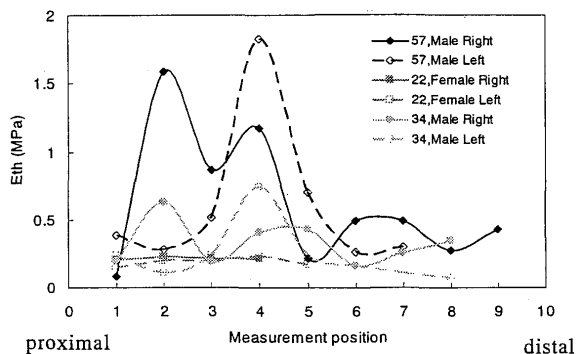


Fig.4 Variation in  $E_{th}$  at 5 mm interval position of common carotid artery with age.

内圧（血圧）の関係から機械的特性（ステフネス  $E_{th}$ ）を求める事により動脈硬化評価法について検討した。初めに，血管の  $E_{th}$  の算出式の有効性について，ウシ胸大動脈，人工材の引張試験および内圧負荷試験により検討を行い，これまでに提案されている式について考察した。次に，本法をヒト総頸動脈に応用し血圧負荷時における直径変化からステフネスを求めた。

また，本解析を画像処理する計測システムを試作し，臨床試験を行なった。得られた結果は以下になる。

- 1) ウシ胸大動脈，ゴムチューブ試験片を用いた引張試験，および内圧負荷試験の結果より式(1)から求められるステフネス  $E_{th}$  は引張試験による  $E_{th}$  と等価であることが認められた。
- 2)  $E_{th}$  をヒト頸動脈計測に応用し，加齢に伴う  $E_{th}$  の増大（動脈硬化）が認められた。また高齢者ほど個人差が見られた。更に，左右総頸動脈の  $E_{th}$  の差異は若年層でもみられ，年齢の増加とともにその差も大きくなっていくことがわかった。また， $E_{th}$  は高齢になると局所的に異なり動脈硬化検査においては局所的検査が必要であると示唆された。

本研究の一部は平成 17-18 年度文部科学省知的クラスター創生事業（岐阜・大垣地域）の受託研究として実施したもので，記して謝辞とします。

### 参考文献

- [1] 厚生労働省大臣官房統計情報部，平成 16 年度人口動態統計
- [2] 工藤信樹，張 旭：超音波 RF エコー解析による頸動脈壁厚計測に関する検討，超音波医学，25、(1998) 155-166
- [3] 山崎義光，児玉峰男：頸動脈エコーによる早期動脈硬化病変の定量評価，Diabetes Journal Vol. 23, No.1 (1995)
- [4] 川崎 健，竹内光吉：超音波変位計による非観血的総頸動脈硬化判定法，脈管学，Vol. 22, No.4 (1932)
- [5] Imura T, et al : Cardiovascular Research, 20, 20, (1986) 208-214
- [6] 野方文雄，動脈硬化解析システム，動脈硬化解析方法及び動脈硬化解析プログラム，特許第 3882084 号 (2006 年 11 月 24 日)
- [7] 林紘三郎，バイオメカニクス，コロナ社 (2000), 76-79