

超音波による総頸動脈の弾性率測定法について

A technique for measuring the elastic modulus of common carotid artery using ultrasonics

正 野方文雄 (岐阜大) ○渡邊豊隆 (岐阜大院)

Fumio NOGATA, Department of Mechanical and Systems Engineering, Gifu University
Toyotaka WATANABE, Department of Mechanical and Systems Engineering, Gifu University

The circulatory disease caused by arteriosclerosis is increasing among elderly people. To diagnose the arteriosclerosis at an early stage has a potential to prevent cerebral infarction and myocardial infarction. Then we have proposed a technique for measuring the elastic modulus of common carotid artery using ultrasonics. This method is based on the dynamic changes in the diameter of common carotid artery and blood pressure. Furthermore, we examined the variation of the elastic modulus of common carotid artery with aging. The results suggest that the elastic modulus of common carotid artery is a useful symptom measure for arteriosclerosis.

Key Words: Arteriosclerosis, Elastic modulus, Ultrasonics, Common carotid artery, Hypertension, In-vivo testing

1. 緒言

我が国における死亡率は第一位が癌、第二位が脳血管疾患、第三位が心疾患となっており循環器系疾患が全体の約 1/3 を占めている¹⁾。これらは動脈硬化に起因しており患者の増加は国民の医療費負担の増加や、今後の人口の高齢化もふまえた大きな問題となっている。これまで動脈硬化に関して Imura ら²⁾、山本³⁾らは腹部における動脈弾性率を Peterson の圧力ひずみ弾性係数式を用いて報告している。このように弾性率を求める式が報告者により異なっている。本研究では動脈の弾性率を表す式について検討し、非侵襲測定による簡易的な動脈の弾性率測定法の確立をめざした。動脈の弾性係数式を動脈の形状、力学的性質に基づき導入し、その精度をウシ胸大動脈の内圧負荷実験、引張試験より検討しヒトの総頸動脈弾性率測定に応用した。それから動脈直径変化を超音波 B モードより高精度に検出するため A モードを利用した動脈壁弾性率測定システムを提案した。そして本計測システムを用いて 20~80 歳の被験者に対してスクリーニング検査し年齢との相関関係を示した。

2. 実験方法

2-1. 弾性率の算出法

動脈壁の弾性率を求める式は内圧を受ける厚肉円筒の式より算出した。

$$Eth = 2 \frac{Ro}{Ro^2 - Ri^2} \cdot \frac{\Delta Pi Ri^2}{\Delta Ro} \quad (1)$$

ここで、Eth: 弾性率, ΔP_i : 血圧差, R_o : 血管外半径, R_i : 血管内半径, ΔR_o : 血管外半径変化量をあらわす。

2-2. ウシ胸大動脈の弾性率測定法

ウシ胸大動脈 (去勢牛, 生後 2 年半) を摘出し筒状試験

片 (外径 34.9, 内径 26.9, 長さ 127mm) とした。試験片内を生理食塩水で満たし内圧を徐々に負荷し随時試験片の直径を計測した。内圧と直径の変化から式 (1) より弾性率 E_{th} を算出した。次に同試験から短冊状試験片 (68.6×22.5×2.6mm) を切り出し、引張試験を行い弾性率を求めた。動脈の外径計測はスクリーン上に約 10 倍に拡大して行った。Fig.1 に実験装置の概略を示す。

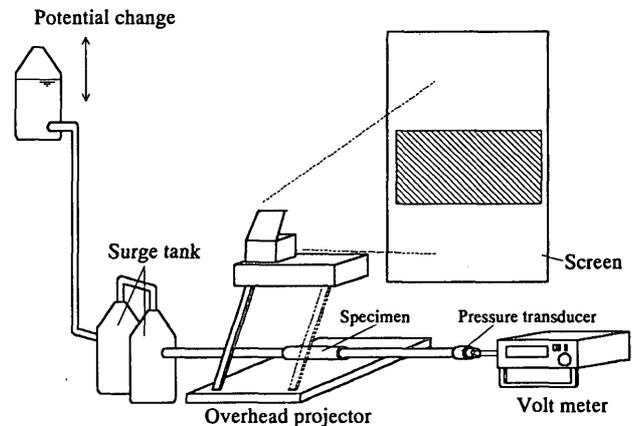


Fig.1 Experimental setup of inner-pressure testing.

2-3. ヒト総頸動脈の弾性率測定

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 (SA-600) のモニター上に総頸動脈の縦断面画像 (B モード画像) をフレームレート 30 (fps) で映し出す。次に超音波装置から送られる信号を A モードとして随時オシロスコープ上に表示した。同時に血圧計で最高血圧と最低血圧を測定した。Fig.2 は総頸動脈の横断面画像図と A モード図の関係を示している。左下に実際にオシロスコープ上にあらわされる A モードを示している。プローブから発射された超音波はそれぞれ血管の外膜の表面および外膜の内面で強く反射するので、波形の立

ち上がり間の距離 L を A モードより測定する. そして総頸動脈の直径は距離 L に 0.3mm を加えることにより求められる. ここで外膜の厚さを 0.3mm とした⁴⁾.

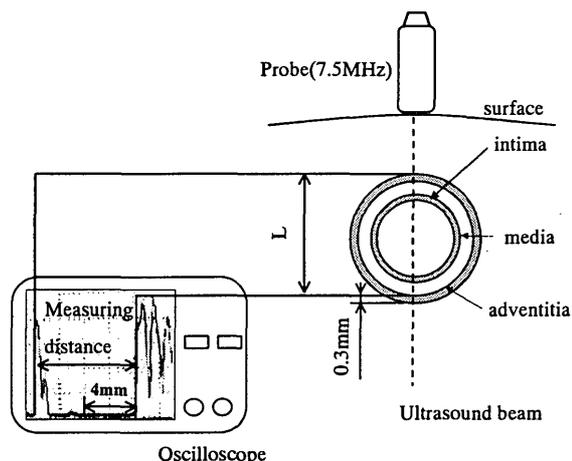


Fig.2 Relationship between the cross sectional image of common carotid artery and its A-mode signal.

3. 結果および考察

3-1. ウシ胸大動脈の弾性率測定

ウシ胸大動脈の引張試験および内圧負荷実験の結果を Fig.3 に応力とひずみの関係で示す. 引張試験では弾性率が $0.410(\text{MPa})$, 内圧負荷実験では式(1)より $0.414(\text{MPa})$ が算出された. したがって内圧を受ける厚肉円筒の式が動脈壁の弾性率測定に有用であることを確認できた.

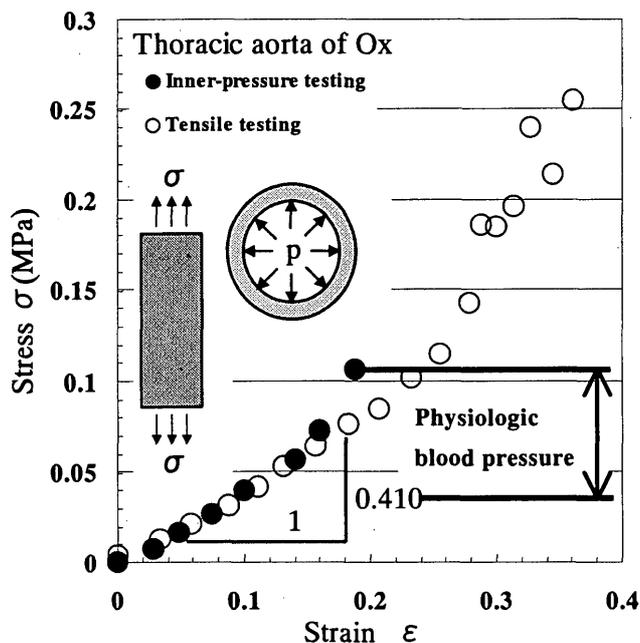


Fig.3 Relationship between stress and strain of ox thoracic aorta.

3-2. 総頸動脈弾性率の加齢に伴う変化

本研究の計測法を用いて, $21\sim 81$ 歳までの 77 名の被験者について総頸動脈の弾性率 E_{th} を計測した結果を Fig.4 に示す. 図から弾性率が加齢に伴い増加していることが確認できる.

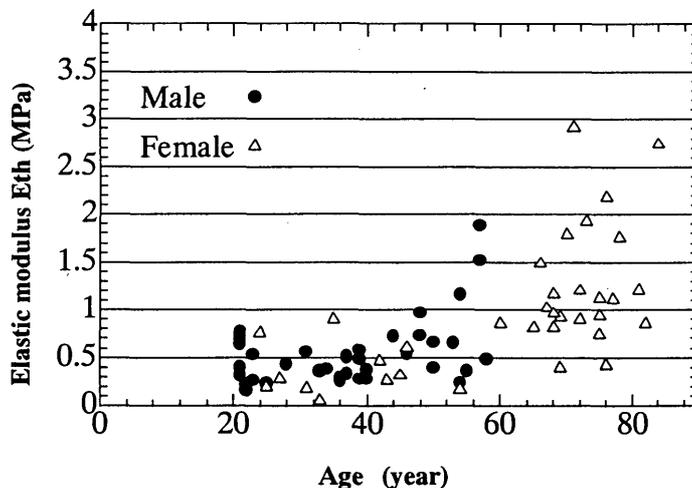


Fig.4 Relationship between elastic modulus of common carotid artery, E_{th} , and age of examinees.

4. 結言

- 1) ウシ胸大動脈の引張試験および内圧負荷実験の結果から, 式(1)より算出される弾性率が動脈の剛性計測に有効である.
- 2) B モードと A モードを併用した計測法は動脈の直径変動計測をより定量的に出来る.
- 3) 本法をヒトの総頸動脈の弾性率計測に応用し加齢とともに動脈が硬化していることが認められた. また高齢者ほど個人差が見られた.

最後に, 本研究に有益な助言をいただいた岐阜大学医学部後藤紘司教授, 同大学保健管理センターの皆様深く感謝いたします. また本研究は陣後佳宗 (三洋電機) 氏の H12 年度大学院修士論文の一部をまとめたものである.

参考文献

1. 厚生省大臣官房統計情報部「平成 7 年人口動態統計」
2. Imura, T et al: Non-invasive ultrasonic measurement of the elastic properties of the human abdominal aorta: Cardiovascular. Res. 1986; 20: 208-214
3. 山本克之, 工藤信樹ら: 動脈硬化の定量評価を目指した超音波計測. 東北大学通信研究所超音波シンポジウム論文集 1997; 36: 151-161
4. G. Gamble et al: B-mode ultrasound image of the carotid artery wall: correlation of ultrasound with histological measurement. Atherosclerosis 1993; 102: 163-173.