原 著

脳ドックでの超音波血流測定による頭蓋内外動脈硬化の診断
—とくに PI 値の意義について—竹内東太郎¹ 岩崎光芳¹ 白田寛治¹ 山崎美保子² 小島精一² 星野博孝³¹東松山市立市民病院 脳神経外科²東松山市立市民病院 放射線科³東松山市立市民病院 健診室

Diagnosis of Extra- and Intracranial Vessel Arteriosclerosis by Transcranial Doppler Ultrasonography at Routine Brain Check-up

Totaro TAKEUCHI¹, Mitsuyoshi IWASAKI¹, Kanji SHIRATA¹, Mihoko YAMAZAKI², Seiichi KOJIMA²,
Hirotaka HOSHINO³¹Department of Neurosurgery, Higashimatsuyama Municipal Hospital²Department of Radiology, Higashimatsuyama Municipal Hospital³Department of Health Detection Room, Higashimatsuyama Municipal Hospital

We studied 1,282 persons (age range: 29 to 83 years; mean age $\pm$ S.D: 45.8 $\pm$ 14.7 years; male:female ratio: 678:604) who underwent routine health check-ups at our hospital for detection of asymptomatic brain diseases. According to the presence or absence of arteriosclerosis (AS) on MRA, the subjects were divided into an AS group (564 subjects) and a non-AS group (718 subjects), and then (1) mean age, (2) systemic blood pressure, including systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), and pulse pressure (PP), and (3) mean blood flow velocity (mFV) and PI value (PI) obtained at the common carotid artery (CA) and middle cerebral artery (MCA) using transcranial Doppler ultrasonography (TC2-64; Rikoh Shoji) were compared between the two groups.

(1) The mean age in the AS group (66.8 $\pm$ 8.9 years) was significantly higher than in the non-AS group (47.9 $\pm$ 13.4 years) ($p < 0.02$). (2) The mean values of SBP, DBP, and PP were found to be 156.5 $\pm$ 9.8 mmHg, 77.5 $\pm$ 10.2 mmHg, and 67.5 $\pm$ 7.4 mmHg, respectively, in the AS group, and 132.25 $\pm$ 12.6 mmHg, 72.5 $\pm$ 7.8 mmHg, and 47.5 $\pm$ 8.0 mmHg, respectively, in the non-AS group, revealing significantly higher SPB and PP values in the AS group ($p < 0.05$ and $p < 0.02$, respectively). (3) mFV at the CA and MCA did not differ significantly between the AS and non-AS groups. PI at the CA and MCA was determined be 1.01 $\pm$ 0.28 and 0.81 $\pm$ 0.32, respectively, in the AS group, and 0.67 $\pm$ 0.19 and 0.58 $\pm$ 0.24, respectively, in the non-AS group, revealing significantly higher PI in the AS group ($p < 0.02$, $p < 0.05$). It was noteworthy that all subjects having a PI of 1.0 or higher were included in the AS group.

Key words : arteriosclerosis, transcranial Doppler ultrasonography (TCD), pulsatility index (PI)

はじめに

頭蓋内外血管超音波検査法は、経頭蓋超音波法と頸部血管超音波法とに大別される。近年では B モードによる超音波断層法がその主流であり、特に頸動脈病変に対しては統一的なガイドラインが作成されつつある^{7,10}。今回著者らは脳ドック受診者に超音波血流測定を施行し、頭蓋内外動脈硬化時の特徴について検討したので報告する。

対象および検索方法

対象は当院脳ドックに受診した 1282 名（年齢：29-83 歳，平均年齢 $\pm$ S.D：45.8 $\pm$ 14.7 歳，男女別 678：604）で

ある。対象に対し、以下の項目に関して検討した。

1. 対象全体の検討

(1) 加齢に伴う体血圧 [収縮期血圧 (systolic blood pressure : SBP), 拡張期血圧 (diastolic blood pressure : DBP), 脈圧 (pulse pressure : PP)] の変動

対象の年齢を 10 歳毎の年齢層に区切り、それぞれの SBP と DBP の平均値を算出した。

(2) 加齢に伴う動脈硬化 (arteriosclerosis : AS) の頻度

10 歳毎の各年齢層で AS が占める割合 (AS ratio = AS cases/all cases in each group) を検討した。

AS の診断は MRA (東芝, 1.5 テスラ, 3D-TOF 法) 所見で、頸動脈または椎骨・脳底動脈の著明な屈曲か蛇行、

Reprint request

竹内東太郎：〒355-0005 埼玉県東松山2392 東松山市立市民病院脳神経外科

Totaro TAKEUCHI : Department of Neurosurgery, Higashimatsuyama Municipal Hospital, 2395 Matsuyama, Higashimatsuyama City, Saitama Prefecture 355-0005, Japan

[Received September 27, 2002; Accepted December 9, 2002]

Fig. 1 Relationship between systemic blood pressure and age (BP: blood pressure, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure)

Fig. 2 Relationship between AS ratio and age (AS ratio=AS cases/all cases in each group, AS: arteriosclerosis)

Fig. 3 Average pressures in the AS and non-AS groups (PP: pulse pressure)

Fig. 4 Waveforms in AS and non-AS groups by TCD examination (TCD: transcranial Doppler ultrasonography, CA: common carotid artery, MCA: middle cerebral artery)

主幹動脈における信号強度の不均一性、主幹動脈の血管壁不整のいずれかを認めた場合を AS とした²⁰⁾。

2. 動脈硬化を認めた群 [AS: 564 名] と認めない群 [non-AS: 718 名] での比較検討

(1) 平均年齢

(2) 体血圧

(3) 超音波血流測定 (利康商事 TC2-64) による総頸動脈 (common carotid artery: CA) と中大脳動脈 (middle cerebral artery: MCA) での平均血流速度 (mean flow velocity: mFV) と PI 値 [pulsatility index value = $(V_s - V_d)/V_m$, V_s : Systolic flow velocity, V_d : Diastolic flow velocity, V_m : Mean flow velocity: PI]

結 果

1. 対象者全体の検討

(1) 加齢に伴う体血圧の変動

特に 40 歳代以降で加齢とともに SBP の上昇と、それに伴い PP が增大する傾向が認められた (Fig.1)。

(2) 加齢に伴う AS の割合

AS ratio は 50 歳代から増加傾向を認め、60 歳代から急激に増加して 80 歳代には 70% 以上にも達した (Fig.2)。

2. AS (+) 群・AS (-) 群での比較検討

(1) 平均年齢

AS では 66.8 ± 8.9 歳・non-AS では 47.9 ± 13.4 歳であり、AS が有意に ($p < 0.02$) 高齢であった。

(2) 体血圧

SBP・DBP・PP は、AS ではそれぞれ 156.5 ± 9.8 mmHg, 77.5 ± 10.2 mmHg, 67.5 ± 7.4 mmHg, non-AS ではそれぞれ 132.25 ± 12.6 mmHg, 72.5 ± 7.8 mmHg, 47.5 ± 8.0 mmHg であり、AS では SBP・PP が有意に ($p < 0.05$, $p < 0.02$) 高値であった (Fig.3)。

(3) 超音波血流測定による波型の特徴と mFV・PI

波形上では Fig.4 のシェーマに示すように、non-AS では V_d が維持されているため“波形の右斜面が緩やかで二相性の形”であるのに対し、AS では V_d の低下により“波形の右斜面が急で尖った一相性に近い形”が特徴であった (Fig.4)。

CA・MCA での mFV は、AS ではそれぞれ 38.6 ± 10.7 cm/sec., 55.2 ± 8.8 cm/sec., non-AS ではそれぞれ 35.2 ± 7.8 cm/sec., 52.7 ± 9.75 cm/sec. であり、両群での有意差は認められなかった (Fig.5)。CA・MCA での PI 値は、AS で

Fig. 5 Mean flow velocity (mFV) in the AS and non-AS groups by TCD examination

Fig. 6 Pulsatility index (PI) in the AS and non-AS groups by TCD examination

はそれぞれ 1.01 ± 0.28 , 0.81 ± 0.32 , non-AS ではそれぞれ 0.67 ± 0.19 , 0.58 ± 0.24 であり, AS では CA・MCA とともに PI が有意に ($p < 0.02$, $p < 0.05$) 高値であった (Fig. 6). また図には示していないが, 特に PI 値が 1.0 以上の症例はすべて AS であった.

考 察

近年, 加齢による体血圧変化の特徴として, 収縮期血圧の上昇と脈圧の増大が指摘されている^{2, 5, 6, 21, 23}. その原因として動脈硬化等による動脈壁のコンプライアンスの低下が考えられ^{2, 12, 16, 19}, コンプライアンス低下が著明な程その傾向が強い事が確認されている¹⁶. 最近とくに脈圧の増大が動脈壁変化に影響する事が指摘され, Bots¹⁾・Liang¹⁰⁾らは脈圧と頸動脈半径/内膜・中膜壁厚比は負の相関関係にあり, 脈圧が増大する程比は低下する(動脈壁厚が増加する)と報告している. さらに脈圧の増大は血管内内皮断裂を惹起させ, 動脈壁粥状硬化の前兆となるとも考えられている^{4, 8, 11}. これらの変化は結果として血管の伸展性・収縮性を低下させ¹², 内皮依存性ベータ受容体血管拡張反応を低下させると言われている^{3, 9, 17-19, 23}. 今回の検討でも加齢に伴う収縮期血圧の上昇と脈圧の増大, はほぼ同期した AS ratio の増加, AS が有意に高齢であった事から, 体血圧変化の主な原因が動脈硬化性変化である事が確認された.

超音波血流測定の利点は, 非侵襲性・短時間性・機動性・簡便性・安全性・経済性に優れている事である¹³. 最近では B モードによる超音波断層法(カラー Doppler 法)が検査法の主流であり, 主に頸動脈の血流や血管壁厚・粥状変化の有無・狭窄度の診断等に活用されている^{13, 14}. Psaty ら¹⁵⁾は超音波測定によって頸動脈病変と脈圧との関係を検討し, 脈圧が増大すると頸動脈壁厚が増加する事を報告している.

著者らは以前から脳ドック受診者に transcranial Doppler ultrasonography (TCD) で頸部用・経頭蓋骨用プローブを

用いて CA と MCA の mFV と PI 値を測定している. とくに高齢者 AS での PI 値増加, 無症候性脳梗塞 (asymptomatic cerebral infarction: ACI) での mFV 低下と PI 値増加の事実は既に報告した²⁰. 今回は TCD での AS における特徴の再確認とその病態の考察を行った.

心臓から拍出される血液は, non-AS では収縮期で 30-40% が末梢組織に送られ, その 60-70% が動脈血管床に貯留される. そして拡張期で cushioning effect により血管床に貯留された血液が末梢組織に送られるため, 波形は明確な二相性を呈する. いっぽう動脈の伸展性が低下した状態(動脈硬化等)では, 収縮期で 50-60% と non-AS に比べて多くの血液が末梢組織に送られてしまうため, 40-50% のみが動脈血管床に貯留される. 従って収縮期血圧は上昇し, 動脈血管床に貯留される血液量が non-AS に比し少ないため cushioning effect が充分に働かず拡張期加圧が低下する. そのため波形は一相性に近くなると言われている¹². 今回の検討で AS での TCD 波形の特徴は, この循環動態によると考えられる.

現在, 超音波血流測定による動脈硬化の診断指標として B モード超音波断層法による頸動脈壁厚に関する報告^{6, 13, 14}や stiffness parameter “Beta” を組み合わせた報告²²が多い. しかし著者らは, 頸動脈のみではなく頭蓋内外の動脈を把握する必要がある事・“収縮期血圧上昇・脈圧増大” という動脈硬化の因子を無視出来ない事から CA・MCA での PI 値が動脈硬化の診断指標として極めて有用であると考えている. 今回の検討で AS では mFV は non-AS と有意差は認めなかったが, CA・MCA とともに PI 値が有意に高値であり, PI 値が 1.0 以上の症例は全例 AS であった. さらに, PI 値は MRA での AS 所見と極めて良く相関しており, PI 値の AS スクリーニングとしての診断価値を再評価出来たと思われる. 最後に AS における PI 増加は, その算出式での Vs 増加・Vm 不変に起因すると考えられた.

結 語

脳ドックでMRA所見上、頭蓋内外血管に動脈硬化を認めた受診者の特徴として下記の結論を得た。

1. 年齢が高齢である。
2. 体血圧は、収縮期血圧が上昇し脈圧は増大する。
3. 超音波血流測定では、PI値が有意に高値で1.0以上はすべてMRA所見で動脈硬化例である。
4. 超音波血流測定でのPI値は、動脈硬化のスクリーニング診断に極めて有用である。

本論文の要旨は、第21回日本脳神経超音波学会（2002年5月、広島）にて報告した。

文 献

- 1) Bots ML, Witteman JCM, Hofman A: Low diastolic blood pressure and atherosclerosis in elderly subjects. The Rotterdam study. *Arch Intern Med* 156: 843-848, 1996
- 2) Bouissou H, Pieraggi HT, Julian H: Age-related morphological changes of the arterial wall. In: *Diseases of the Arterial Wall* (eds. by Camilleri JP, Berry CL, Fiessonger JN, Bariety J), Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 1989, pp71-78
- 3) Chamoit-Clerc P, Renaud JF, Safar HE: Pulse pressure, aortic reactivity, and endothelium dysfunction in old hypertensive rats. *Hypertension* 37: 313-321, 2001
- 4) Dart AM, Kingwell BA: Pulse pressure-A review of mechanism and clinical relevance. *J Am Coll Cardiol* 37: 975-984, 2001
- 5) Franklin SS, Gustin W, Wong ND: Hemodynamic patterns of age-related changes in blood pressure. The Framingham Heart Study. *Circulation* 308-315, 1997
- 6) Hajjar IM, Grim CE, George V: Impact of diet on blood pressure and age-related changes in blood pressure in the US population. *Arch Intern Med* 161: 539-589, 2001
- 7) 半田伸夫：頸動脈エコーによる動脈硬化性病変評価のガイドライン(案). *Neurosonology* 15: 20-33, 2002
- 8) Khatker RS, Achaya DU, Kinsey C: Longitudinal association of ambulatory pulse pressure with left ventricular mass and vascular hypertrophy in essential hypertension. *J Hypertens* 15: 737-743, 1997
- 9) Lakatta EG: Heart and circulation. In *Handbook of the Biology of Aging* (3rd Ed., eds by Schneider EL, Rowe JW), San Diego, Academic Press Inc., 1990, pp181-216
- 10) Liang YL, Shiel LM, Teede H: Effects of blood pressure, smoking, and their interaction on carotid artery structure and function. *Hypertension* 37: 6-11, 2001
- 11) Liao D, Arnett DK, Tyroler HA: Arterial stiffness and development of hypertension. The ARIC study. *Hypertension* 34: 201-206, 1999
- 12) London GM, Guerin AP: Influence of arterial pulse and reflected waves on blood pressure and cardiac function. *Am Heart J* 138: 220-224, 1999
- 13) 森竹浩三：超音波検査. *Clinical Neuroscience* 15: 1346-1349, 1997
- 14) 村上博彦：脳ドックの心電図，超音波検査. *Modern Physician* 21: 1329-1335, 2001
- 15) Psaty BM, Furberg CD, Kuller LH: Isolated systolic hypertension and subclinical cardiovascular disease in the elderly. Initial findings from the Cardio-vascular Health Study. *JAMA* 268: 1287-1291, 1992
- 16) Randall OS, van den Bos GC, Westerhof N: Systemic compliance: does it play a role in the genesis of essential hypertension?. *Cardiovasc Res* 18: 455-462, 1984
- 17) Ryan SM, Waack BJ, Weno BL: Increases in pulse pressure impair acetylcholine-induced vascular relaxation. *Am J Physiol* 268: 359-363, 1995
- 18) Safer ME, London GM: Blood pressure in relation to physical aging process in the arterial wall. In *Handbook of Hypertension, Vol. 12 ; Hypertension in the Elderly*. (eds. by Amery A, Staessen BV), Amsterdam, Elsevier Science Publishers, 1989, pp70-84
- 19) 佐藤昭夫，堀田晴美：血管壁の生理機能の加齢変化. *現代医療* 23: 2371-2377, 1991
- 20) 竹内東太郎，笠原英司，岩崎光芳，松崎正一：脳ドックにおける無症候性脳梗塞と頭蓋内外動脈硬化との関連およびその危険因子. *埼玉県医学会雑誌* 33: 276-281, 1998
- 21) 築山久一郎，大塚啓子：脈圧の臨床的意義. *臨床高血圧* 8: 244-256, 2001
- 22) 山下晃平，中野次郎，中野重徳，藤代健太郎：頸部超音波診断による脳動脈硬化判定の有用性-形態面と機能面からのアプローチ. *Neurosonology* 15 (Suppl.) 49, 2002
- 23) 吉田洋一：「血管が硬くなる」とはどういうことか？ *日医会誌* 108: 116, 1992