総頸動脈波形に影響する因子の検討

鈴木 綾乃¹⁾, 竹川 英宏^{2,3)}, 豊田 茂⁴⁾, 鈴木 圭輔¹⁾, 岡村 穂²⁾, 岩崎 晶夫²⁾, 西平 崇人²⁾, 岡部 龍太^{2,5)}, 平田 幸一¹⁾

¹⁾ 獨協医科大学 神経内科

²⁾ 獨協医科大学 神経内科 (脳卒中部門)

³⁾ 獨協医科大学 超音波センター

⁴⁾ 獨協医科大学 心臓・血管内科

⁵⁾ 公立阿伎留医療センター内科

Evaluation of factors related to the pulse Doppler waveform of the common carotid artery

Ayano SUZUKI¹⁾, Hidehiro TAKEKAWA^{2,3)}, Shigeru TOYODA⁴⁾, Keisuke SUZUKI¹⁾, Madoka OKAMURA²⁾, Akio IWASAKI²⁾, Takahito NISHIHARA²⁾, Ryuta OKABE^{2,5)}, Koichi HIRATA¹⁾

¹⁾ Department of Neurology, Dokkyo Medical University

²⁾ Stroke Division, Department of Neurology, Dokkyo Medical University

³⁾ Center of Medical Ultrasonics, Dokkyo Medical University

⁴⁾ Department of Cardiovascular Medicine, Dokkyo Medical University

⁵⁾ Department of Internal Medicine, Akiru Municipal Medical Center

The aim of this study is to evaluate factors related to the pulse Doppler waveform of the common carotid artery (CCA) in the systolic phase. Sixteen consecutive subjects who underwent carotid ultrasonography and transthoracic echocardiography (TTE) were included. Peak systolic velocity (PSV), time-averaged maximum velocity (TAMV), end diastolic velocity (EDV), pulsatility index (PI), resistance index (RI), the diameters of the CCA and internal carotid artery (ICA), the presence of ICA stenosis at the origin as well as the angle between the ICA and CCA were measured. The pulse Doppler waveforms of the CCA were categorized into the following three patterns: type A (15 vessels, bimodal peaks with the latter being small), type B (9 vessels, bimodal peaks with both peaks being equal or higher) and type C (8 vessels, a uninomodal peak). Valvular heart disease and left ventricular ejection fraction were evaluated by TTE. The frequency of aortic regurgitation, EDV, TAMV and RI were different among the groups ($p < 0.05$, $p < 0.1$, $p < 0.05$, $p < 0.1$, respectively). In multivariate analysis, using Type A as the reference group, no parameters were associated with type B, but TAMV and RI were significantly associated with type C. We conclude that the TAMV and RI of CCA might contribute to changes in the CCA waveforms.

Keywords: pulse Doppler waveforms, common carotid artery, resistance index

(Received January 27, 2015; Accepted March 31, 2015)

はじめに

頸部エコー検査のパルスドプラ波形は、計測部の収縮期最高血流速度 (peak systolic velocity; PSV) による狭窄診断¹⁾, 拡張末期血流速度 (end diastolic velocity; EDV) による ED ratio を用いた頭側内頸動脈閉塞診断²⁾,

収縮期加速時間 (acceleration time; AcT) による体幹側の狭窄診断³⁾, 平均血流速度を用いた椎骨動脈閉塞診断⁴⁾, 外頸動脈の抵抗係数 (resistance index; RI) による硬膜動静脈瘻の示唆⁵⁾ などさまざまな情報が得られる。

一方, パルスドプラ波形の形状については, 大動脈弁

Reprint request

竹川 英宏: 〒321-0293 栃木県下都賀郡壬生町北小林 880 獨協医科大学 神経内科 (脳卒中部門)

Hidehiro TAKEKAWA: Stroke Division, Department of Neurology, Dokkyo Medical University, Kitakobayashi 880, Mibu, Shimotsuga, Tochigi 321-0293, Japan

E-mail: take@dokkyomed.ac.jp, Tel: 0282-87-2152, Fax: 0282-86-5884

Fig.1 Classification of the pulse Doppler waveforms of common carotid artery

The pulse Doppler waveforms of common carotid artery were categorized into the following three patterns: type A (bimodal peaks with the latter being small, arrows), type B (bimodal peaks with the both peaks being equal or higher, arrows) and type C (a monomodal peak).

狭窄症 (aortic stenosis; AS) ではすべての頸動脈で AcT が延長することが知られているほか⁶⁾, 特に総頸動脈 (common carotid artery; CCA) では収縮期と拡張期の間に急峻な速度の低下と回復を呈する重拍切痕がみられ, 大動脈弁の開閉を反映していることが報告されている⁷⁾.

しかし, この形状, 特に収縮期におけるパルスドブラ波形に影響する因子についての検討は少ない.

対象と方法

頸部エコー検査および経胸壁心エコー検査を同日に施行した連続 16 例を対象とし, 総血管数 32 本を解析した (年齢 73.2 ± 7.2 歳, 男性 14 例).

頸部エコー検査は Aplio SSA-770A (東芝メディカルシステムズ, 栃木) を用い, リニア型探触子 (中心周波数 7.5MHz) で両側 CCA のパルスドブラ波形を観察した. なお計測は日本脳神経超音波学会に準拠し⁸⁾, サンプルボリュームを血管径の $1/2 \sim 2/3$, 血流方向と超音波入射角を 60° 以内とし, 頸動脈洞より約 2cm 体幹側で行い, 得られた総頸動脈波形を 3 型に分類した (Fig.1). A 型は 2 峰性で 1 峰のピーク時速度が 2 峰のピーク時速度よりも速い波形とし, B 型は 2 峰性で 1 峰のピーク時速度が 2 峰のピーク時速度よりも遅い波形, C 型は 1 峰性を呈したものとした. また CCA の PSV, EDV, 時間平均最大血流速度 (time averaged maximum flow velocity; TAMV), 拍動係数 (pulsatility index; PI) および RI を計測した.

内頸動脈 (internal carotid artery; ICA) における分岐部の狭窄は PSV が 150cm/sec 以上を呈した場合とした. また B モード画像から拡張末期における CCA の外膜間距離と内膜間距離, ICA の外膜間距離の血管径を評価し, さらに CCA と ICA のなす角度 (ICA 分岐角度) を計測した (Fig.2). さらに, CCA の最大内中膜複合体厚 (Maximal intima-media thickness of CCA; IMT-Cmax) と左右片側ずつのプラークスコア (plaque score; PS) を求めた.

経胸壁心エコー検査は SONOS 7500 (フィリップス

Fig.2 Angle measurement between common and internal carotid artery
Origin of internal carotid artery was set as the center, and the angle between common carotid artery (CCA) and internal carotid artery (ICA) was measured.

エレクトロニクスジャパン, 東京), VIVID 7 (GEヘルスケア・ジャパン, 東京) および PROSOUND $\alpha 10$ (日立アロカメディカル, 東京) を使用した. セクタレイ型探触子 (中心周波数 2.5MHz) を用い, 左室駆出率 (ejection fraction; EF), 中等度以上の AS, 大動脈弁閉鎖不全症 (aortic regurgitation; AR) および僧帽弁閉鎖不全症 (mitral regurgitation; MR) を評価した. なお, 弁膜症の重症度は, 日本超音波医学会の提唱に基づきおこなった⁹⁾.

得られた超音波画像は DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) 画像に変換し, パソコン上で POP-NET Essential version 4.2C (イメージ・ワン, 東京) を用いて, CCA と ICA の血管径および ICA 分岐角度, IMT-Cmax, PS の計測をおこなった.

統計解析は Pearson の χ^2 検定および分散分析 (事後分析: Bonferroni 法) で施行し, $p < 0.05$ を有意とした. また, 有意となった項目および $p < 0.1$ と差がある傾向を示した項目について, 多項ロジスティック解析 (A 型を基準) を用い, CCA のパルスドブラ波形への影響について解析した.

本検討は獨協医科大学生命倫理委員会の承認を得ており, 対象者は全例検査の同意を取得した.

結果

CCA のパルスドブラ波形は, A 型が 15 血管 (46.9%) であり, B 型 9 血管 (28.1%), C 型 8 血管 (25.0%) であった. 年齢は A 型 75 歳 (中央値, 範囲 55-84), B 型 69 歳 (55-84), C 型 73 歳 (62-82) であり有意差はなかった ($p = 0.288$, 分散分析). 男性は A 型 14 血管 (93.3%), B 型 7 血管 (77.8%), C 型 7 血管 (87.5%) と B 型で少ない結果であったが, 統計学的に有意ではなかった ($p = 0.537$, χ^2 検定). 右 CCA の割合は, A 型 9 血管 (60.0%), B 型 3 例 (33.3%), C 型 4 例 (50.0%) であり, 局在にも有意差はなかった ($p = 0.449$, χ^2 検定).

経胸心エコー検査の所見をみると (Table 1), AS は全体で 3 血管と少なく, A 型に 1 例, C 型に 2 例であり,

Table 1 Differences in the findings of transthoracic echocardiography among the groups according to flow patterns of common carotid artery

	Type A	Type B	Type C	p value
Number	15	9	8	—
Aortic stenosis (n; %)	1; 6.67	0; 0	2; 25.0	0.186
Aortic regurgitation (n; %)	2; 13.3	4; 44.4	0; 0	0.0489
Mitral regurgitation (n; %)	5; 33.3	3; 33.3	2; 25.0	0.908
Ejection fraction (%; median; range)	61.6; 46.0–68.3	68.3; 44.3–75.7	61.4; 44.3–72.8	0.305*

(Chi-squared test, *Analysis of variance)

B型には存在しなかった。ARは6血管であり、B型に4例(44.4%)存在し、A型では2血管(13.3%)で、C型には存在せず、有意にB型に多く存在した($p=0.0489$, χ^2 検定)。MRは10血管に認められ、A型が5血管(33.3%)と最も多く、B型3血管(33.3%)、C型2血管(25.0%)であったが有意差はなかった。EFはA型61.6%(中央値)であり、B型68.3%、C型61.4%と有意差はなかった。

頸部エコー検査の所見では、ICA狭窄はC型に1例認めたのみで、群間に有意差はなかった($p=0.231$, χ^2 検定)。CCAの外膜距離の血管径はA型およびB型が7.80mm(中央値)であり、C型は7.20mmと差はなかった。また内膜間距離の血管径はA型が6.60mm、B型が7.00mm、C型が6.75mmと外膜間距離と同様に差はなかった。一方、ICAの血管径もA型が5.10mm、B型が4.80mm、C型が4.85mmと有意差はなかった。IMT-CmaxはA型が1.00mm、B型が0.900mm、C型が1.40mmであり、PSはA型が1.70、B型が2.50、C型が4.50と、いずれもC型で高い値を示したが有意差はなかった。PIはA型1.84、B型1.46、C型1.35と有意差はなかったが、RIはA型0.780、B型0.730、C型0.705であり、C型で低い傾向を示した。ICA分岐角度は、A型が156°、B型が149°、C型が156°であり、おおむね150°前後と有意差はなかった(Table 2)。

一方、CCAの血流速度では、PSVはA型が72.4cm/sec(中央値)であり、B型が52.8cm/sec、C型が64.9cm/secと有意差はなかったものの、EDVはA型が15.3cm/sec、B型が15.1cm/sec、C型が18.1cm/secとC型で速い傾向があり($p=0.0755$, 分散分析)、TAMVはA型27.1cm/sec、B型33.0cm/sec、C型32.3cm/secと群間に有意差を認め($p=0.0197$, 分散分析)(Table 2)、Fig. 3に示すようにC型はA型と比較し有意

に速い速度を示した($p=0.0186$, Bonferroni法)。

多変量解析の結果では(Table 3)、A型を基準とした場合、ARの存在、RI値、TAMV、EDVはB型に関係する因子ではなかった。一方、C型に関係する因子をみるとEDV($p=0.0503$)に関与する傾向がみられ、RI($p=0.0340$)およびTAMV($p=0.0323$)は交錯因子を補正しても有意な項目であった。

考 察

CCAのパルスドプラ波形における収縮期の形状について検討をおこなった。一般的にCCAの収縮期波形は、本検討でA型と定義した2峰性で1峰のピーク時速度が2峰のピーク時速度よりも速い波形を示すことが多く、われわれの検討においても約半数で認められた。しかし、2峰性を示すが1峰のピーク時速度が2峰のピーク時速度よりも遅い波形(B型)および、1峰性(C型)を呈したものが1/4程度存在していた。心臓弁膜症や血流速度、ICA狭窄、血管径、PSなどについて比較した本検討結果では、ARの存在、RI、TAMVおよびEDVが波形の形状変化に関与する可能性が示された。一方、多変量解析ではC型波形はRIが低値であること、TAMVが速いことが関係することが示されたものの、B型波形を呈する要因は明らかではなかった。

CCAの波形変化は、超音波定量的血流量測定装置を用いたFujishiroらの検討で、若年者ではC型を呈しやすく、高齢になるほどB型へ変化することが報告されている¹⁰⁾。またAcTはASで延長することが報告され

Table 2 Difference in the findings of carotid ultrasonography among the groups according to flow patterns of common carotid artery

	Type A	Type B	Type C	p value
Number	15	9	8	—
Outer diameter of CCA (mm, median; range)	7.80; 6.80–9.70	7.80; 6.40–8.80	7.20; 6.20–10.0	0.447
Inner diameter of CCA (mm, median; range)	6.60; 5.60–8.00	7.00; 4.60–7.90	6.75; 4.50–8.80	0.827
Outer diameter of ICA (mm, median; range)	5.10; 3.50–7.20	4.80; 3.90–6.50	4.85; 4.50–6.20	0.859
Maximal intima-media thickness of CCA	1.00; 0.700–5.40	0.900; 0.600–2.10	1.40; 0.700–3.10	0.498
Unilateral plaque score	1.70; 0–13.1	2.50; 0–7.00	4.50; 2.50–9.80	0.176
PI of CCA (median; range)	1.84; 1.32–3.05	1.46; 1.10–2.03	1.35; 1.06–1.99	0.296
RI of CCA (median; range)	0.780; 0.680–0.910	0.730; 0.640–0.870	0.705; 0.640–0.830	0.0665
Angle of CCA and ICA (degree, median; range)	156; 93.2–177	149; 72.0–168	156; 119–171	0.247
PSV of CCA (cm/sec, median; range)	72.4; 46.6–84.8	52.8; 34.9–84.3	64.9; 41.3–137	0.366
TAMV of CCA (cm/sec, median; range)	27.1; 19.7–37.5	33.0; 14.9–37.4	32.3; 20.4–57.0	0.0197
EDV of CCA (cm/sec, median; range)	15.3; 6.70–20.8	15.1; 4.70–24.2	18.1; 11.6–31.0	0.0755

(Analysis of variance)

CCA: common carotid artery, ICA: internal carotid artery, PI: Pulsatility index, RI: Resistance index, PSV: peak systolic velocity, TAMV: time averaged maximum flow velocity, EDV: end diastolic velocity

Table 3 Multiple regression analysis of the type of pulse Doppler waveform of common carotid artery

Type B	Odds ratio	95% confidence interval	p value
AR	0.248	0.0236–2.62	0.246
RI	<0.01	<0.01–3720	0.150
TAMV	1.45	0.919–2.29	0.110
EDV	0.560	0.625–1.19	0.130
Type C	Odds ratio	95% confidence interval	p value
RI	<0.01	<0.0001–0.000546	0.0340
TAMV	3.12	1.10–8.82	0.0323
EDV	0.145	0.0210–1.00	0.0503

(Adjusted by listed variables)

AR: Aortic regurgitation, RI: Resistance index, TAMV: time averaged maximum flow velocity, EDV: end diastolic velocity

ており、この延長は CCA のみならずすべての頸動脈で観察される^{6,11)}。一方、末梢動脈のパルスドプラ波形では重拍切痕 (dicrotic notch; DN) と呼ばれる収縮期と拡張期の間に急峻な速度の低下と回復が出現する。これは大動脈弁の開閉を反映し⁷⁾、中心血圧と関連することが知られている¹²⁾。

このように CCA のパルスドプラ波形には年齢や大動脈弁の影響が推察される。われわれの検討では各波形の年齢に有意差はなかった。しかし単変量解析では AS は波形の変化に関与しなかったが、AR は影響を与えていた。AR は大動脈弁の開鎖が不十分であるため、拡張期に血流が左心室内へ逆流する。したがって収縮期におけるパルスドプラ波形への影響は少ないと推察され、実際に多変量解析では B 型波形に影響を与える因子ではなかった。また、本検討では C 型に AR が存在せず、収縮期波形に影響を及ぼすかについての検討ができなかったが、AR の重症度や他の弁膜症の合併などにより収縮期波形を変化させる可能性が考えられる。

C 型波形への変化は、最大血流速度の時間平均値である TAMV が関係していた。したがって、収縮期中の血流速度がある一定の速度以上を呈する場合は、逆流成分が消失することが考えられる。また、TAMV は PI を算出する際に使用されるが、本検討では EDV は C 型波形に影響を及ぼす傾向が得られたものの、PSV は波形変化の要因ではなかった。このため分散分析ではあるが、PI は波形に影響を及ぼす因子として有意な結果が得られなかったと考えられる。

一方、本検討のサンプルボリュームは血管を覆うように設定しておらず¹⁰⁾、血流量に関する検討ができていないため、今後の検討が必要である。しかし RI は C 型波形の有意な要因であった。RI は PSV と EDV の差を PSV で除した値であり、PI 同様に末梢側の血管抵抗との関連のほか¹³⁾、高齢者ほど高値を示すことが報告されている¹⁴⁾。加えて、下肢動脈狭窄における検討において、足背部や足底部の皮膚組織環流圧と RI が相関す

Fig.3 Differences in time averaged maximum flow velocity among type A, type B and type C group

Time averaged maximum flow velocity of type C were significantly faster than that of type A ($p=0.0186$, Bonferroni test).

The lower and upper edges of the black boxes and the white lines inside the black boxes represent the 25th and 75th percentiles and the median, respectively.

ると報告されている¹⁵⁾。したがって、2 峰性が 1 峰性に変化する要因として末梢血管抵抗の関与が示唆され、本点においては Fujishiro らの報告¹⁰⁾を裏付けるものと考えられる。また、本検討では IMT-Cmax, PS は分散分析において有意差はなく、ICA や頭蓋内動脈といった、より末梢の動脈硬化が関与する可能性が示唆された。

本検討における 2 峰性を示す例においては、そのピーク速度が 1 峰か 2 峰が速くなるかについての要因は明らかとならなかった。しかし、 χ^2 検定では、AR の合併率は B 型が 44.4% と多く、TAMV も B 型は A 型よりも速い値を示した。したがって症例数を蓄積することにより、C 型と同様に有意な要因として捉えられる可能性がある。

また stiffness parameter β といった血管弾性、血流量に加え、弁膜症の重症度ごとの評価ならびに種々の弁膜症の合併といった項目について検討はしていないため、本要因を絡めた解析により、より詳細な結果が得られると推察される。

結論として、CCA の収縮期におけるパルスドプラ波形が 2 峰性から 1 峰性に変化する要因として、TAMV の増加と RI の低下が 1 つの要因であることが示された。

本報告の要旨は第 33 回日本脳神経超音波学会 (2014 年岩手) にて発表した。

●参考文献

- 1) Koga M, Kimura K, Minematsu K, et al.: Diagnosis of internal carotid artery stenosis greater than 70% with power Doppler duplex sonography. Am J Neuroradiol 2001; 22: 413-417.
- 2) Yasaka M, Omae T, Tsuchiya T, et al: Ultrasonic evaluation of the site of carotid axis occlusion in patients with acute cardio-embolic stroke. Stroke 1992; 23: 420-422.
- 3) Takekawa H, Suzuki K, Takada E, et al.: Acceleration time ratio for the assessment of extracranial internal carotid artery stenosis. J Med Ultrasonics 2014; 41: 63-67.
- 4) Saito K, Kimura K, Nagatsuka K, et al.: Vertebral artery occlusion in duplex color-coded ultrasonography. Stroke 2004; 35:

- 1068-1072.
- 5) Tsai LK, Yeh SJ, Chen YC, et al.: Screen for intracranial dural arteriovenous fistulae with carotid duplex sonography. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2009; 80: 1225-1229.
 - 6) O'Boyle MK, Vibhakkar NI, Chung J, et al.: Duplex sonography of the carotid arteries in patients with isolated aortic stenosis: imaging findings and relation to severity of stenosis. *Am J Roentgenol* 1996; 166: 197-202.
 - 7) Martina JR, Westerhof BE, de Jonge N, et al.: Noninvasive arterial blood pressure waveforms in patients with continuous-flow left ventricular assist devices. *ASAIO J* 2014; 60: 154-161.
 - 8) 日本脳神経超音波学会・栓子検出と治療学会合同ガイドライン作成委員会: 頸部血管超音波検査ガイドライン. *Neurosonology* 2006; 19: 49-67.
 - 9) 日本超音波医学会用語・診断基準委員会, 心臓弁膜症評価のための心エコー諸指標の解説作成小委員会: 成人心臓弁膜症の心エコー図診断. *超音波医学* 2014; 41: 415-454.
 - 10) 藤代健太郎: 頸部動脈血流計測, 日本脳神経超音波学会 機関誌 *Neurosonology* 編集委員会: 脳神経超音波マニュアル, 島根: 報光社, 2006, p38-41.
 - 11) 岡村穂, 竹川英宏, 鈴木圭輔, 他: 頸動脈エコーにおける前方循環系の収縮期加速時間に影響を及ぼす因子. *Neurosonology* 2103; 25: 81-85.
 - 12) Hébert JL, Lecarpentier Y, Zamani K, et al.: Relation between aortic diastolic notch pressure and mean aortic pressure in adults. *Am J Cardiol* 1995; 76: 301-306.
 - 13) Ozari HO, Oktenli C, Celik S, et al.: Are increased carotid artery pulsatility and resistance indexes early signs of vascular abnormalities in young obese males? *J Clin Ultrasound* 2012; 40: 335-340.
 - 14) Albayrak R, Degirmenci B, Acar M, et al.: Doppler sonography evaluation of flow velocity and volume of the extracranial internal carotid and vertebral arteries in healthy adults. *J Clin Ultrasound* 2007; 35: 27-33.
 - 15) 馬場理江, 箕輪和士, 川本篤彦, 他: 血管超音波検査におけるドブラ流速波形解析の有用性: 重症下肢虚血検出のために. *J Jpn Coll Angiol* 2008; 48: 203-212.