鎖骨下動脈高度狭窄における同側椎骨動脈の超音波ドプラ波形に関する 12 症例報告

永井 秀政, 辻 将大, 江田 大武, 中川 史生, 神原 瑞樹, 吉金 努, 萩原 伸哉, 中右 博也, 宮崎 健史, 秋山 恭彦

島根大学医学部脳神経外科

Doppler ultrasonography of the ipsilateral vertebral artery with high-grade stenosis of the subclavian artery: a series of 12 cases

Hidemasa NAGAI, Masahiro TSUJI, Hirotake EDA, Fumio NAKAGAWA, Mizuki KAMBARA, Tsutomu YOSHIKANE, Shinya HAGIWARA, Hiroya NAKAU, Takeshi MIYAZAKI, Yasuhiko AKIYAMA

Department of Neurosurgery, Shimane University Faculty of Medicine

Introduction: Proximal stenosis of the subclavian artery (SCA) shows progression to subclavian steal syndrome (SSS)/phenomenon (SSP), characterized by retrograde flow in the ipsilateral vertebral artery (VA). Here we describe the clinical manifestations and ultrasound findings of ipsilateral VA in patients with high-grade stenosis of the SCA, and the role of VA ultrasound in percutaneous transluminal angioplasty (PTA) stenting of the SCA.

Patients: Twelve patients (male: 10, female: 2; age: 17–86 yr) were selected from among inpatients with SCA stenosis treated in our department between 2009 and 2015.

Results: The affected vessel was the left in 8 cases and the right in 4. The causes of stenosis were atherosclerosis in 10 cases, congenital in 1, and arteritis in 1. The symptoms were dizziness, faintness, syncope, diplopia, dysarthria, rest pain, coldness and arm claudication on effort. The cases were divided into SSS (n=7), SSP (n=2), and SCA stenosis only (n=3). The Doppler flow patterns were classified as normal antegrade (n=3), bunny waveform (n=0), alternating (n=6), reverse (n=2), and not detected (n=1). Ten of the patients underwent PTA stenting and 2 conservative therapy.

Conclusions: Alternating and reverse flow patterns in the VA might lead to the surgical indication for PTA-stenting of SCA.

Keywords: subclavian artery stenosis, subclavian steal syndrome, ultrasound, vertebral artery

(Received November 29, 2016; Accepted December 22, 2016)

はじめに

鎖骨下動脈盗血は、鎖骨下動脈 (subclavian artery : SCA) が椎骨動脈分岐部より近位側で狭窄して椎骨動脈 (vertebral artery : VA) に逆流が起こり、引き起こされる病態である。無症候性のは鎖骨下動脈盗血現象 (subclavian artery steal phenomenon : SSP) で、症候性のは鎖骨下動脈盗血症候群 (subclavian artery steal syndrome : SSS) という。SSS では上肢の症状、脳幹部の症状、血管雑音などの症状があり、理学所見として

20mmHg 以上の収縮期血圧の左右差が有名である。基本的治療は保存療法で外科治療の適応になるものは少ない。

われわれは、鎖骨下動脈狭窄があり盗血の疑いで入院し外科治療としてステントに至った症例について、VA の超音波所見の特徴を検討したので報告する。

対象と方法

2009 年から 2015 年までに島根大学医学部脳神経外科へ入院した患者群のカルテを調査し、鎖骨下動脈狭窄

Reprint request

永井秀政 : 〒 693-8501 島根県出雲市塩冶町 89-1 島根大学医学部脳神経外科

Hidemasa NAGAI: Department of Neurosurgery, Shimane University Faculty of Medicine, Enya 89-1, Izumo, Shimane 693-8501, Japan

E-mail: h-nagai@med.shimane-u.ac.jp, Tel: 0853-20-2245, Fax: 0853-21-8954

Fig.1 The Doppler waveform pattern in subclavian artery stenosis

We classified the waveform into 4 types: normal antegrade flow, bunny waveform, alternating flow, and reverse flow.

Normal antegrade flow shows a tiny difference in which acceleration time (AcT) is prolonged and decelerated.

The bunny waveform results from rapid flow deceleration at mid-systole. It resembles a rabbit ear. Some authors call this midsystolic notch, dimple or dip.

Alternating flow involves forward and backward flow at systole, but antegrade flow at diastole.

Reverse flow is complete retrograde flow during the entire cardiac cycle.

の病名で精密検査が行われ、かつ頸部エコー検査が施行された 12 症例を選択した。なお、当院では鎖骨下動脈狭窄の手術適応を、①鎖骨下動脈狭窄が 3 次元 computed tomography angiogram (3D-CTA) で 70% 以上のもので、かつ②当該の鎖骨下動脈狭窄に由来する症状があることとしている。この適応基準を前提に、病歴、上肢収縮期血圧の左右差、臨床症状、頸部エコー検査、magnetic resonance imaging (MRI)、3D-CTA、脳血流検査、脳血管撮影などを個別に提示して、手術を決定した。

使用した超音波機種は、Toshiba Aplio500[®] (東芝メディカルシステムズ、栃木)あるいは Phillips iE33[®] (フィリップス エレクトロニクス ジャパン、東京)で、日本脳神経超音波学会のガイドラインで示された方法に従い、頸部エコー検査の際に一側の頸動脈と同じ側の VA を横突孔間で同定して血流速を測定した。また同ガイドラインでは SSP の VA のドプラ波形を正常、収縮期の切れ込み、収縮期後期の逆流、完全逆流の 4 つのパターンに分類しているので¹⁾、われわれも normal antegrade flow, bunny waveform, alternating flow, reverse flow の 4 つに分類した (Fig.1)。また 2 例で hyperemia (ischemia cuff) test を施行した。脳血管撮影では、NASCET 法に準じて鎖骨下動脈狭窄率を計測した。また 5 例で steal

を誘発するために検査中に運動負荷試験を行った。すなわち患側の VA を撮影した後に、患側上肢で 3kg のバーベルを 1 分間上下運動させて、もう一度患側の VA を撮影した。

結果

一覧を Table 1 に示す。12 症例の年齢分布は 17 ~ 86 歳、平均年齢は 71 歳、男性：10 例、女性：2 例であった。狭窄は左側：8 例、右側：4 例であった。また鎖骨下動脈狭窄の原因の 8 割は動脈硬化であった。ルーチンの超音波検査で椎骨動脈の波形パターンは、normal antegrade flow：3 例、bunny waveform：0 例、alternating flow：6 例、reverse flow：2 例、血流信号なし：1 例であった。10 例でステント治療を施行し、その治療の際に椎骨動脈への distal embolic protection に留意して各種のステントを留置した。2 例で保存的に加療した。

イラストケース

症候性 (Case 3)

症候性の左鎖骨下動脈狭窄の 84 歳の男性である。脳血管撮影で左 VA から左 SCA への逆流がみられた。エコーで左 VA に alternating flow がみられた。hyperemia test を施行した。加圧前には収縮期の逆流が強く、拡張期の順行性血流が低い血流であった。患側上肢のカフ圧を 200mmHg に加圧し 2 分後に測定すると収縮期の逆流が減少し、拡張期の順行性血流が増加した。カフを解除すると元の alternating flow に戻った。ステント治療を施行した (Fig.2)。

考察

鎖骨下動脈狭窄に伴う盗血現象は脳血管撮影で初めて報告され²⁾、さらに超音波でも症例報告された³⁾。また von Reutern ら⁴⁾は SCA の狭窄や閉塞の症例で VA の超音波信号を normal flow pattern, reverse flow, systolic flow deceleration, alternating flow, complete reversal of flow と詳細に分析した。Ringelstein ら⁵⁾は、鎖骨下動脈狭窄の程度から Stage 1 ~ 4 に分類し、Yip ら⁶⁾は、SSP の症例のドプラ波形と脳血管撮影の狭窄率との関連を示した。Sakima ら⁷⁾は、左鎖骨下動脈の 22 例で VA のドプラ信号を Type 1 ~ 5 に分類し、狭窄の程度と比較している。彼らによると Type 1 は normal antegrade waveform で、Type 2 は順行性血流に midsystolic notch があるもの、Type 3 は収縮期で逆流が順行性血流のものより小さいもの、Type 4 は収縮期で逆流が順行性血流のものより大きいもの、Type 5 は順行性血流のない完全な逆流である。このような特徴的なドプラ波形の病態は、脳血流が VA を介して SCA から上肢へ吸い込まれる

Table 1 The patient summary

#	Age	Sex	PH	Clinical manifestation	Dis	Lesion	Rt arm Bp	Lt arm Bp	Arm P's diff	SSS/P, w/CAS	PSV	EDV	RI	Dim	VA waveform	Hyperemia test	Angio Steal	Angio Steal on load	Stenosis (%)	TX	FU years	Restenosis
1	17	M	Rt AA anomaly	Coldness, Muscle weakness on effort, Bad feeling	C-g	Lt SCA	134/70	108/52	26	SSS	-39.2	9.4	1.2	2.3	Alternating	nd	pos	pos	Lt 82	Stent, Precise	3	neg
2	79	M	HT, HL, DM, CI	Blackout, right hand numbness, Dysphasia Dizziness	As	Rt SCA	139/82	169/68	30	SSS	-60	9.6	1.2	3.7	Alternating	nd	pos	nd	Rt 80	Stent, Luminex	7	pos
3	84	M	HT	Lt foot numbness, TIA, Lighththeadness	As	Lt SCA	145/73	102/89	43	SSS w/CAS	-86.8	8.4	1.1	3.6	Alternating	pos	pos	nd	Lt 93	Stent, Precise	2	neg
4	76	M	HT, HL, DM	Blurring vision	As	Lt SCA	165/56	106/71	59	SSS w/CAS	no	no	no	4	not detect	nd	pos, delay	nd	Lt 80	Stent, Luminex	4	neg
5	69	M	HT, HL, DM, CAD	Muscle weakness on effort	As	Lt SCA	124/59	90/65	34	SSS	-38	4	1.1	4	Alternating	nd	neg	pos	Lt 90	Stent, Epic	1	neg
6	78	M	HT, PAD	Cold sweating	As	Lt SCA	171/67	125/70	46	SSS w/CAS	-30.8	6.6	1	4.1	Alternating	nd	pos	nd	Lt 80	Stent, Smart	2	neg
7	72	M	HT, DM	TIA	As	Lt SCA	172/77	120/80	52	SSS	-57.1	0	1	4.1	Reverse	pos	pos	pos	Lt 90	Stent, Luminex	1	pos
8	75	F	HT, HL, DM	no	As	Rt SCA	145/93	140/85	5	SSP	-48.9	10.8	1.2	4	Alternating	nd	pos	pos	Rt 85	Stent, Express	2	neg
9	77	M	DM, vascular dementia	Orthogonal hypotension, TIA	As	Lt SCA	126/67	155/62	29	no SSP w/CAS	45.4	16.9	0.6	4.4	Antegrade	nd	neg	nd	Lt 90 (Rt 80)	Stent, Palmatz	1	neg
10	66	M	HT, HL, Af, Rt hypoVA	Syncope, Lighththeadness	As	Lt SCA	140/79	121/70	19	no SSP	38.2	22.2	0.4	3.5	Antegrade	nd	neg	nd	Lt 75	Stent, Express	3	neg
11	86	M	DM, calcified SCA	Difficulty in writing, Rt shoulder pain	As	Rt SCA	77/47	119/48	42	SSS	-44.1	0	1	1	Reverse	nd	nd	nd	Rt 60	Obser	no	no
12	78	F	HT	no	Art	Rt SCA	110/68	136/53	26	no SSP	30.2	6.2	0.8	3	Antegrade	nd	neg	nd	nd	Obser	no	no

M, male; F, female; Rt, right; Lt, left; AA, aortic arch; HT, hypertension; HL, hyperlipidemia; DM, diabetes mellitus; CI, cerebral infarction; CAD, coronary artery disease; PAD, peripheral artery disease; Af, atrial fibrillation; VA, vertebral artery; SCA, subclavian artery; TIA, transient ischemic attack; Cg, congenital; As, atherosclerosis; Art, arteritis; Dis, disease entity; Bp, blood pressure; diff, differences; SSS, subclavian steal syndrome; SSP, subclavian steal phenomenon; CAS, carotid artery stenosis; PSV, peak-systolic velocity; EDV, end-diastolic velocity; Dim, vessel diameter; pos, positive; neg, negative; nd, no data; w/, with; Obser, observation; FU, postoperative follow-up periods

Fig.2 An 84-year-old man complained of blackouts, dizziness, difficulty in talking, and right hand numbness

Upper figures: Right vertebral angiography revealed steal flow from the right VA to the left arm (A, B, C, D). The arrow (C) indicates proximal left subclavian stenosis.

Lower figures: A hyperemia test was performed (E, F, G). The pretest Doppler waveform of the left VA was a severe “alternating flow” pattern (E), indicating deep backward flow in systole and small forward flow in diastole. Upon inflation of a left arm blood pressure cuff to 200mmHg for 2min, the flow changed to a mild “alternating flow” pattern (F), with decreased flow in systole and increased flow in diastole. Rapid deflation of the cuff led to increased blood flow in the left arm, and a reversal of blood flow in the left VA, the “alternating flow” pattern (G) returning to a severe state.

Suction 効果であり, Ritter と Ringelstein⁸⁾ は Venturi 効果として説明している.

SSS の特徴的な超音波所見として収縮中期の切れ込みがあり, Courneya と Carroll⁹⁾ は, 収縮期中後期にみられる減速をウサギの形に似ていることから bunny waveform と記述した. この波形は systolic flow deceleration や latent steal に相当し, midsystolic notch, systolic dimple, midsystolic dip, 収縮期切痕などとも呼ばれている^{1,4,6,10-12)}. Kliewer ら¹³⁾ は SSS の初期状態の順行性血流にみられる収縮中期の切れ込みを解析し, 切れ込みが拡張末期よりも上にあるものを Type 1, 拡張末期と同じ高さのものを Type 2, ベースライン上にあるものを Type 3, ベースライン以下になるものを Type 4 と分類している.

本論文で検討した 12 症例は手術適応の精密検査で選別された症例であり, SSS の初期状態の bunny waveform を認めなかった. その理由として, VA のドプラ波形で bunny waveform にまだ手術適応はなく, alternating ~ reverse flow の段階で手術検討するものと考えているからである. 一般に SSS のステント治療の適応は, 症候性の鎖骨下動脈狭窄で狭窄率 70% 以上のものに加

えて, 負荷試験を含めて脳血管撮影で逆流所見を伴う場合とされる¹⁴⁾. これは脳塞栓症のリスクからは VA の逆流した時点で治療するほうが安全であるからとされる. つまり手術適応では逆流の根拠を示すことが必要であり, 脳血管撮影中に上肢運動による負荷試験で逆流の誘発を確認した. 超音波では患側上肢の動脈圧迫後の急速開放での逆流を誘発させる負荷試験である hyperemia-ischemia cuff test (cuff upper arm compression test あるいはマンシュート負荷試験) が簡便で実際的な検査と思われた. 個々のケースでみると, 症例 1 ~ 7 は症候性で逆流を伴うので前述の一般的な SSS の手術適応に合致する. しかし, 症例 8 は抗血小板治療にかかわらず SCA の進行性狭窄と逆流より無症候性であったが, 例外として外科治療を行った. 症例 9, 10 では normal antegrade flow で逆流はなかったが, 当科の手術適応は満たしており脳血流全体の影響を考慮して治療選択肢を提示してステントを施行した. 残りの 2 症例では手術を施行せず保存的加療を行った. なぜなら症例 11 では高度な石灰化と高齢で, 症例 12 では側副血行路が発達し手術適応を満たしていなかったからである.

まとめ

鎖骨下動脈狭窄症の外科治療の基準として、椎骨動脈の超音波所見 (reverse flow/alternating flow) は steal を示唆する重要な所見であった。脳循環予備能の全体からみて適応を考慮する症例も散見されたので、椎骨動脈が正常に近い所見でも外科治療は否定できないと思われる。

●文献

- 1) 斉藤こずえ：椎骨動脈，日本脳神経超音波学会ほか（監）：頸部血管超音波検査ガイドライン。Neurosonology 2006; 19: 62-64.
- 2) Contorni L: The vertebro-vertebral collateral circulation in obliteration of the subclavian artery at its origin [in Italian]. Minerva Chir 1960; 15: 268-271.
- 3) Mozersky DJ, Barnes RW, Sumner DS, et al.: Hemodynamics of innominate artery occlusion. Ann Surg 1973; 178: 123-127.
- 4) von Reutern GM, Pourcelot L: Cardiac cycle-dependent alternating flow in vertebral arteries with subclavian artery stenoses. Stroke 1978; 9: 229-236.
- 5) Ringelstein EB, Zeumer H: Delayed reversal of vertebral artery blood flow following percutaneous transluminal angioplasty for subclavian steal syndrome. Neuroradiology 1984; 26: 189-198.
- 6) Yip PK, Liu HM, Hwang BS, et al.: Subclavian steal phenomenon: a correlation between duplex sonographic and angiographic findings. Neuroradiology 1992; 34: 279-282.
- 7) Sakima H, Wakugawa Y, Isa K, et al.: Correlation between the degree of left subclavian artery stenosis and the left vertebral artery waveform by pulse Doppler ultrasonography. Cerebrovasc Dis 2011; 31: 64-67.
- 8) Ritter MA, Ringelstein EB: The Venturi effect and cerebrovascular ultrasound. Cerebrovasc Dis 2002; 14: 98-104.
- 9) Courneya DL, Carroll BA: Vertebral artery pre-steal waveform. The bunny waveform. Radiology 1995; 197(Suppl): 336.
- 10) Kalaria VG, Jacob S, Irwin W, et al.: Duplex ultrasonography of vertebral and subclavian arteries. J Am Soc Echocardiogr 2005; 18: 1107-1111.
- 11) 渡邊聖樹，平野照之，永沼雅基，他：鎖骨下動脈狭窄に対する血管拡張術施行中の椎骨動脈血流波形変化。Neurosonology 2006; 19: 79-82.
- 12) 櫛田晃子，本田玲子，辻村久美子，他：椎骨動脈パルスドプラ検査の有用性。鎖骨下動脈盗血現象症例を中心に。超音波検査技術 2004; 29: 505-510.
- 13) Klierer MA, Hertzberg BS, Kim DH, et al.: Vertebral artery Doppler waveform changes indicating subclavian steal physiology. AJR Am J Roentgenol 2000; 174: 815-819.
- 14) 津浦光晴，寺田友昭，田中優子，他：鎖骨下動脈，椎骨動脈狭窄病変に対する血行再建術。脈管学 2010; 50: 737-743.