

テクニカルノート

椎骨動脈近位部狭窄症の病態評価におけるドプラ超音波検査の有用性

Doppler ultrasonography for the assessment of proximal
vertebral artery stenosis

小泉聡 1,2 山岡由美子 1 庄島正明 2 木村俊運 1 井上智弘 1

1 : NTT 東日本関東病院

2 : 東京大学医学部脳神経外科

連絡著者: 小泉聡 (NTT 東日本関東病院脳神経外科 東京都品川区東五
反田 5-9-22, tel: 03-3448-6111 e-mail: sakoizumi-tky@umin.net)

Key word: 椎骨動脈、ステント留置術、バルーン拡張術、ドプラ超音波
検査、頸動脈エコー

本論文を、日本脳神経血管内治療学会機関誌「JNET Journal of
Neuroendovascular Therapy」に投稿するにあたり、筆頭著者、共著者
によって、国内外の他雑誌に掲載ないし投稿されていないことを誓約致
します。

[和文要旨]

【目的】 椎骨動脈近位部の高度狭窄の診断におけるドプラ超音波検査の有用性を検討した。**【症例】** 後方循環系の脳虚血症と診断した患者に椎骨動脈のドプラ超音波検査を施行した。内頸動脈起始部高度狭窄の診断基準(最大収縮期最高血流速度 **200cm/sec** 以上または収縮期加速度時間 **110msec** 以上)を満たした場合に、高度狭窄を疑い脳血管撮影を実施した。超音波検査で椎骨動脈近位部の高度狭窄が疑われた **6** 例全てで、血管撮影で高度狭窄が確認され血管内治療を施行。術後に超音波検査を行った **5** 例で、所見の改善を確認した。**【結論】** ドプラ超音波検査は、椎骨動脈近位部の高度狭窄のスクリーニングと術後評価に有用である。

【諸言】

ドプラ超音波検査による内頸動脈起始部高度狭窄の診断法はすでに確立しており 1), また同部の高度狭窄症患者に対しては頸動脈内膜剥離術やステント留置術の有効性が示されている 2),3). 一方で後方循環系の脳梗塞の原因となりうる椎骨動脈近位部の高度狭窄については簡単にスクリーニングする方法が乏しく, また現時点では同部のステント留置術やバルーン拡張術などといった血管内治療の有効性は示されていない 4),5). 我々は, 頸動脈ドプラ超音波検査による内頸動脈起始部高度狭窄の診断基準を用いて, 椎骨動脈近位部の高度狭窄を低侵襲にスクリーニングし, 高度狭窄が疑われた患者に脳血管撮影を行い, 確定診断を得ている. さらに, カテーテル治療の効果判定と経過観察にも椎骨動脈のドプラ超音波検査を積極的に活用している. 今回当科の症例をまとめ, 椎骨動脈狭窄症の診断におけるドプラ超音波検査の有用性について検討した.

【症例呈示】

後方循環系の脳虚血症を発症した患者全例に対して, **7.5mHz** のリニアプローブと **6.0mHz** のコンベックスプローブ(いずれも東芝, 東京, 日本)を用いて **V1** 部から **V2** 部(起始部付近から第3頸椎横突起まで)の血流波形を記録し, できる限り **V0** 部(起始部)でも行った. 内頸動脈起始部高度狭窄の判定基準を用いて, 椎骨動脈波形の最大収縮期最高血流速度 (**max PSV: maximum peak systolic flow velocity**) **200cm/sec** 以上を呈した部位に高度狭窄が存在すると仮診断した. また, 収縮期加速度時間 (**AcT: acceleration time**)**110msec** 以上の延長を認めた場合は, その近位部側に高度狭窄が存在すると仮診断した(図1). 脳血管撮影を実施して高度狭窄を確定し, 臨床経過と合わせて血管内治療の適応ありと判断さ

れた場合に、狭窄部にバルーン血管形成術ないしステント留置術を施行し、椎骨動脈のドプラ超音波検査で術後評価と経過観察を行った。

上記方法で高度狭窄を発見した症例は、2014年1月から2016年3月までに6例（67-95歳，男性3例女性3例）であった（Table 1）。超音波検査で発見されたVA高度狭窄の部位は、V0部（起始部）4例，V1部（第6頸椎横突起孔進入まで）1例，V2部（第6と第3頸椎横突起孔間）1例であった。V0狭窄症4例のうち，超音波検査でV0を直接観察し流速亢進が確認できたのは2例であり，残り2例は遠位V2部のAcT延長をもって高度狭窄を疑った。V1,V2部の狭窄については，いずれも超音波検査で直接狭窄部のmaxPSV上昇を確認した。その後の脳血管撮影では全例超音波検査で疑われた部位に一致して高度狭窄の存在が確認され，また，6例すべてにおいて，対側椎骨動脈はいずれも閉塞ないし低形成であったことから，血管内治療の適応がある高度狭窄と診断した。椎骨動脈のドプラ超音波検査で異常がなかったにもかかわらず，その後血管撮影が行われ高度狭窄が指摘された症例はなかった。

V0部の高度狭窄に対してはステント留置術，V1,V2部の高度狭窄に対してはバルーン拡張術を施行した。術後1例で動脈原性と思われる症候性の脳幹梗塞が出現した他には周術期神経学的合併症は認めず，その後症状の再発や50%以上の再狭窄を認めなかった。術後の椎骨動脈ドプラ超音波検査は6例中5例で施行したが，狭窄部のmaxPSV上昇ないし狭窄遠位のAcTの延長はいずれも改善していた。

（代表症例）

症例1(Figure2): 84歳女性。右半身の動かしにくさを主訴に当院来院し，脳幹及び小脳の急性期多発脳梗塞と診断した。椎骨動脈のドプラ超音波

検査にて左 V0 部は観察できなかったが、左 V2 部の平均流速(MV: mean flow velocity)低下を伴う収縮期加速度時間の延長 (MV=5cm/sec, AcT=242msec)と右 V1-V2 部での血流シグナル消失を認め、左 V0 部の高度狭窄と右 V0 部の閉塞を疑った。その後も意識障害と四肢麻痺が消長し、右 V0 部閉塞と左 V0 部の高度狭窄が椎骨脳底動脈循環不全の原因となっていると考えた。内科的治療のみでは症状のコントロールが困難と判断し、入院後第3病日に脳血管撮影で左 V0 部の極めて高度な狭窄を確認し、同部にステント留置術を施行した。狭窄部中心に **Precise 7X40mm** を留置し、良好な拡張を得た。手術当日術後の椎骨動脈のドプラ超音波検査にて左 V2 部の著しい血流の改善(MV=17cm/sec, AcT=75msec)を確認した。その後のフォローでは、術後 18 ヶ月時点で MV=14cm/sec,AcT=49msec とさらに改善、術後 27 ヶ月時点で MV=15cm/sec,AcT=44msec と改善を維持し、ステント留置部の再狭窄を疑う所見を認めず脳梗塞再発もない。

症例 3(Figure3): 83 歳女性。脳幹梗塞を契機に精査したところ、椎骨動脈のドプラ超音波検査で左 V2 部の第 4 頸椎横突起孔を出た直後の部位で限局性の maxPSV の著しい亢進 (276cm/sec) を認め、高度狭窄が示唆された。右 VA は低形成であった。抗血小板薬 2 剤含む内科的治療を開始したが、同部を塞栓源とすると考えられる右視床梗塞を再発した。内科的治療のみでは脳梗塞再発のリスクが高いと判断し、血管内治療を行うこととした。脳血管撮影で超音波検査が指摘した部位に高度狭窄を認め、同部にバルーン拡張術を施行した。 **Gateway monorail 2.5X12(Stryker, 東京, 日本)**にて拡張を行い、良好な拡張を得た。その後 18 ヶ月間脳梗塞の再発なく経過している。術後 8 ヶ月の椎骨動脈ドプ

ラ超音波検査では、**maxPSV** が **153cm/sec** と低下していた。

症例 5(Figure4): 95 歳男性。視野異常を契機に他院を受診し、脳幹小脳の急性期多発梗塞を指摘され保存的に加療されていたが、梗塞が拡大し当院に転入院。椎骨動脈のドプラ超音波検査にて右 **V1** 部での限局性の **maxPSV** の著明な亢進 (**maxPSV=450cm/sec**) と **V2** 部での **MV** の低下を伴う **AcT** の延長 (**MV=21cm/sec, AcT=117msec**) を認め、**V1** 部の高度狭窄を疑った。左 **VA** が低形成であることと合わせて、**V1** の高度狭窄を塞栓源とする脳梗塞再発と考えた。**maxPSV** が著明に亢進していることより後方循環の血行力学的負荷は強いと考え、早期の血管内治療による介入が望ましいと判断。脳血管撮影で超音波検査が指摘した部位に高度狭窄を認め、同部位に対するバルーン血管拡張術を施行した。**Gateway monorail** (Stryker, 東京, 日本) **2 X12mm** を用いて拡張を行い、狭窄率は **69→50%** に改善した。その後脳梗塞の再発なくリハビリ目的に転院となり、術後の椎骨動脈のドプラ超音波検査のフォローは行えなかった。

【考察】

内頸動脈起始部の高度狭窄においては、頸動脈のドプラ超音波検査で最大狭窄部の **maxPSV200cm/sec** 以上が **NASCET70%** 狭窄に相当すること **1)**、狭窄部遠位側で観察された波形の **AcT110msec** 以上の延長が観察点より近位部の **NASCET60%** 以上の狭窄と相関することが知られており **6)7)**、同様の所見は椎骨動脈の起始部狭窄の診断にも有用との報告がある **8)**。今回我々は後方循環系の脳虚血症を発症した患者について椎骨動脈のドプラ超音波検査を行い、内頸動脈起始部高度狭窄と同じ判定基準を用いて脳血管撮影の適応決定のためのスクリーニングを行ない、高度狭窄診断において血管撮影と不一致はなかった。また、超音波検査はベッドサ

イドで非侵襲的かつ簡便に施行可能であり、血管精査の初めの手段として十分有用であった。また低侵襲かつ造影剤不要であるために繰り返しの検査にも向いており、血管内治療の効果判定、フォローアップにも有効である。

ドプラ超音波検査による椎骨動脈の狭窄の程度の評価については狭窄部と狭窄遠位の **maxPSV** の比で **VA** の高度狭窄を診断する方法の報告もある⁹⁾が、**V0** 部の高度狭窄部は全例で観察可能ではないため、この基準は使えない例もある。また、**maxPSV200cm/sec** 以上による高度狭窄診断の注意点として、1) 対側の鎖骨下動脈に盗血現象がある場合、検査側 **VA** の流速が全体に上昇して中等度以下の狭窄でも **maxPSV** が **200cm/sec** を超えて高度狭窄と誤って診断する可能性（偽陽性）、2) 検査側 **VA** 遠位部に高度狭窄がある場合、近位側の **VA** の流速が全体に低下して高度狭窄でも **maxPSV** が **200cm/sec** 未満となって中等度以下の狭窄と誤って診断する可能性（偽陰性）、3) **long-segment** の狭窄がありその中の一部が高度狭窄となっている場合も **maxPSV** が上昇しにくい（偽陰性）がある。今回検討した症例はいずれも対側が低形成ないし閉塞していたため、患側 **VA** の血流に後方循環の血流が依存する比較的単純な血行動態となっていた。このようなケースでは狭窄進行と流速亢進、流速亢進と血流低下による症候出現が直接的に関連し、結果として治療の必要性が高い病変を検出できていたものと思われる。一方で対側椎骨動脈が発達している状態でのドプラ超音波検査による血流評価の有用性については今後症例を重ねての検討が必要である。

ドプラ超音波検査での **VA** 評価は、内頸動脈起始部より深部を走行している点、低形成で血管径が極端に細い（**1mm** 前後）場合、横突起に阻まれ

で見えない部分がある点など、技術的にはより経験を要する。しかし、内頸動脈起始部高度狭窄の検出にある程度習熟している検査者であれば、同じ基準を用いているため、VA近位部高度狭窄の検出も大きな問題なく可能と思われる。一方で今回我々が用いたように、内頸動脈狭窄症の診断基準をそのまま導入することが妥当であるかどうかについては、今後とも症例の蓄積と血管撮影初見との対比による検討が必要である。

現在椎骨動脈近位部領域に対する血管内治療の有用性は明らかにされていないが、症例でも示したようにVA近位部の高度狭窄症患者では内科的治療に抵抗し後方循環の虚血症を繰り返す例もある。椎骨動脈のドプラ超音波検査を用いて血管内治療の適応がある患者を早期に検出できればその有用性はさらに高まると思われ、今後も検討を続けていきたい。

【結語】

無侵襲で繰り返し行うことができる椎骨動脈のドプラ超音波検査は、後方循環系脳虚血症の原因となりうるV0-V2部の高度狭窄のスクリーニングおよび血管内治療後の効果判定と経過観察に有用である。

【利益相反の開示】

筆頭著者および共著者全員が利益相反はない。

【文献】

- 1) The Japan Academy of Neurosonology. Carotid Ultrasound Examination. 2006; 19: 40-67(article in Japanese)
- 2) Barnett HJM, Taylor DW, Eliasziw M, et al. Benefit of carotid endarterectomy in patients with symptomatic moderate or severe stenosis. N Engl J Med. 1998; 339:1415-1425

- 3) Rosenfield K, Matsumura JS, Chaturvedi S, et al. Randomized trial of stent versus surgery for asymptomatic carotid stenosis. *N Engl J Med.* 2016; 374:1011-20
- 4) Coward LJ, McCabe DJH, Ederle J, et al. Long-Term Outcome After Angioplasty and Stenting for Symptomatic Vertebral Artery Stenosis Compared With Medical Treatment in the Carotid And Vertebral Artery Transluminal Angioplasty Study (CAVATAS). *Stroke.* 2007; 38: 1526-1530
- 5) Stayman AN, Nogueira RG, Gupta R, et al. A systematic review of stenting and angioplasty in symptom extracranial vertebral artery stenosis. *Stroke.* 2011; 42; 2212-2216
- 6) Takekawa H, Asakawa Y, Lee T, et al. Usefulness of acceleration time for assessment of stenosis in the extracranial internal carotid artery. *Neurosonology.* 2009; 22:79-82 (article in Japanese)
- 7) Tamura H, Akaiwa Y, Onda K, et al. Usefulness of acceleration time for internal carotid artery origin stenosis. *Ann Vasc Dis.* 2013; 6:590-595
- 8) Takekawa H, Okabe R, Okamura M, et al. Evaluation methods for arteriosclerosis – diagnosis of stenosis using pulse Doppler waveform. *Neurosonology.* 2014; 27:93-95 (article in Japanese)
- 9) Yurdakul M, Tola M. Doppler criteria for identifying proximal vertebral artery stenosis of 50% or more. *J Ultrasound Med.* 2011; 30: 163-168

【図表の説明】

Figure1: ドプラ超音波検査による血流波形のシェーマ.

(A): 正常像. 血流速度は収縮期開始とともに速やかに上昇し, 最大値をとる. **AcT: acceleration time**(収縮期加速度時間), **max PSV: maximum peak systolic velocity** (最大収縮期最高血流速度)

(B): 内頸動脈や椎骨動脈に高度狭窄を認める場合, 狭窄部で **max PSV** が限局性に上昇する.

(C): 狭窄点の遠位部では **AcT** が延長するとともに, 1 波形の平均速度 **mean velocity** が低下する.

Figure2: 症例 1. 左椎骨動脈 (VA) 起始部の高度狭窄に対するステント留置術. **Filterwire** による遠位 VA の **protection** 下に狭窄部に **Precise 7X40** を留置 (A: 術前. B: 術中所見. C: 術後). 椎骨動脈のドプラ超音波検査においては術前平均流速 (MV) 低下を伴う収縮期加速度時間 (**AcT**) の著しい延長を認めた (MV=5cm/sec, AcT=242msec, (D))が, 術直後より波形の改善を認めた (MV=17cm/sec, AcT=75msec, (E)).

Figure3: 症例 3. 左の椎骨動脈 V2 部の狭窄症に対して **Gateway monorail 2.5X12**(Stryker, 東京, 日本)を用いたバルーン血管拡張術を施行 (A: 術前. B: 術中所見. C: 術後). 椎骨動脈のドプラ超音波検査においては術前に 276cm/sec と亢進していた (D)狭窄部の最大収縮期最高血流速度 **maximum peak systolic velocity (maxPSV)** が, 術後 8 ヶ月に 153cm/sec と低下していた (E).

Figure4: 症例 5. 右椎骨動脈 V1 部の狭窄症に対するバルーン拡張術. 術前の椎骨動脈ドプラ超音波検査で右 V1 部の最大収縮期最高血流速度 **maximum peak systolic velocity (maxPSV)** の限局性の著しい亢進 (maxPSVmax=450cm/sec, (A))と V2 部の収縮期加速度時間 (**AcT**) の延長

(AcT=117msec, (B))を認めた。Gateway 2X12mm を用いて血管径の拡張を得た(C: 術前. D: 術中所見. E: 術後).

Table1.

Summary of the cases

Case	Patient	Stenosis	Tx	%stenosis (pre post)	Measurement sites of echo	Echo results (pre)	Echo results (post)	Timing of post-echo
1	84F	Lt V0	Stent	79 12%	V2	MV=5cm/s AcT=242ms	MV=14cm/s AcT=49ms	18Mo
2	67M	Lt V0	Stent	74 20%	V2	MV=28cm/s AcT=133ms	MV=30cm/s AcT=50ms	21Mo
3	83F	Lt V2	PTA	79 46%	V2(stenosis)	MaxPSV=276cm/s	MaxPSV=153cm/s	8Mo
4	74F	Rt V0	Stent	80 28%	V2	MV=17cm/s AcT=121ms	MV=32cm/s AcT=66ms	POD3
5	95M	Rt V1	PTA	69 50%	V1(stenosis) V2	MaxPSV=450cm/s MV=21cm/s AcT=117ms	Not performed	
6	81M	Lt V0	Stent	71 37%	V2	MV=8cm/s AcT=193ms	MV=31cm/sec AcT=52ms	1Mo

Tx: treatment, PTA: percutaneous transluminal angioplasty, AcT: acceleration time, MV: mean velocity, MaxPSV: maximum peak systolic velocity, Mo: months, POD: postoperative day

Fig.1

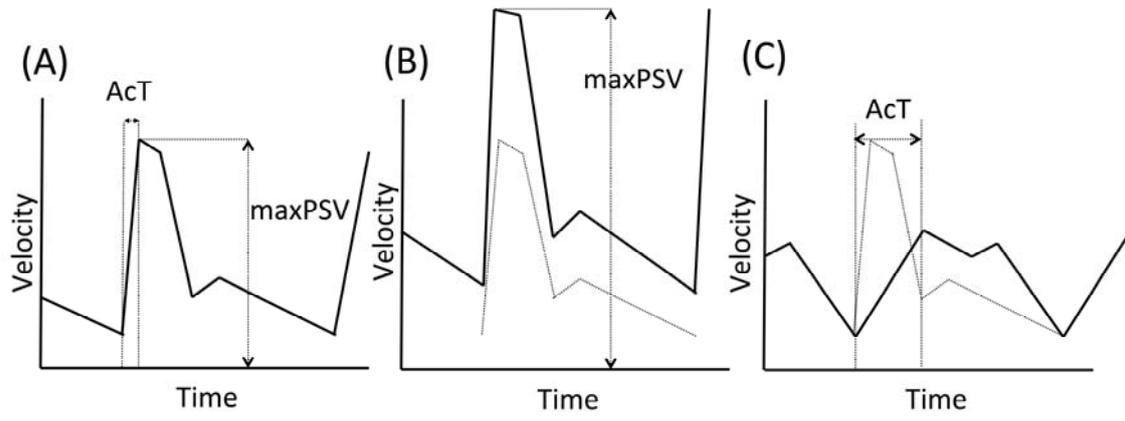


Fig.2

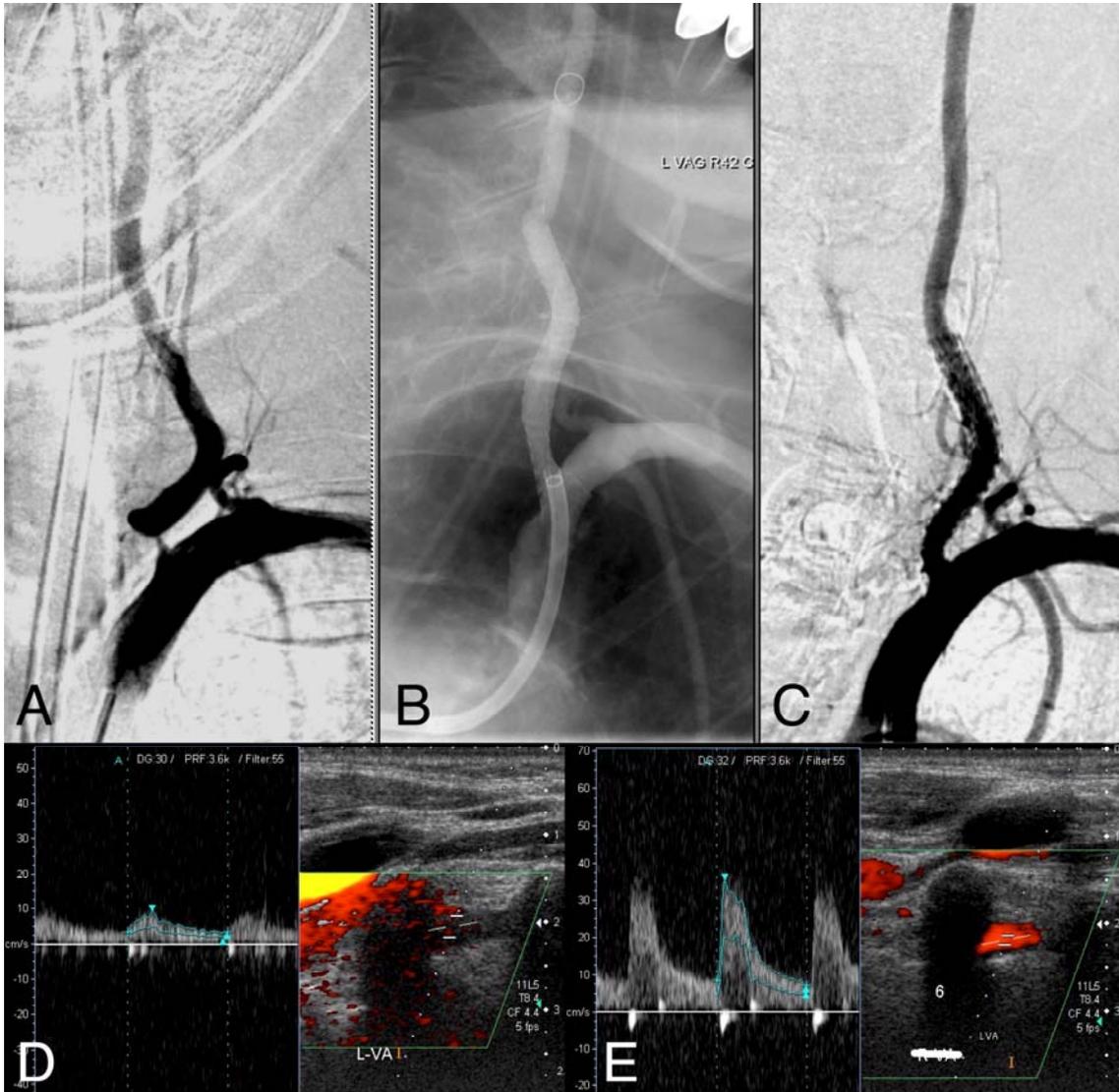


Fig.3

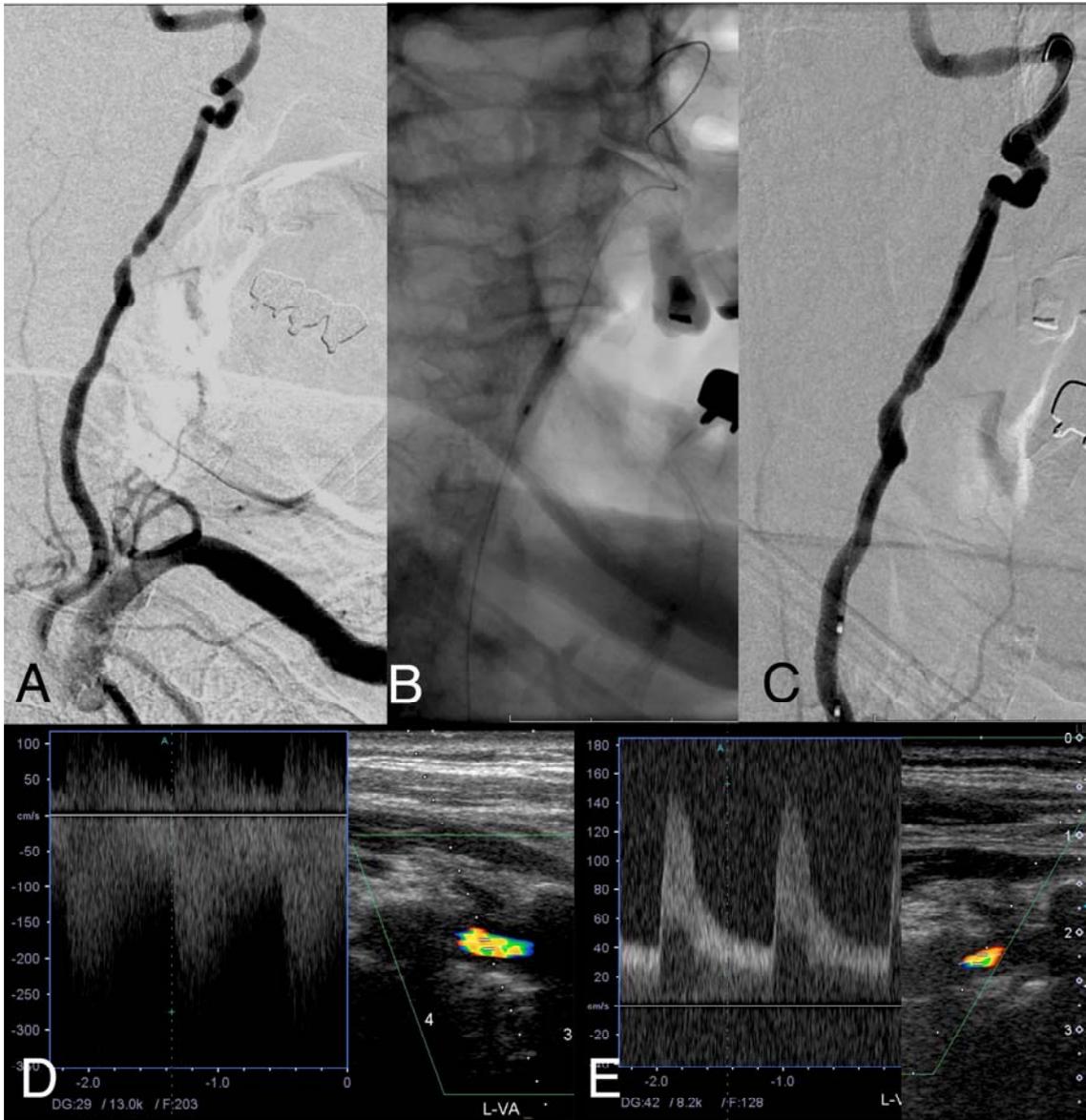


Fig.4

