Online publication January 14, 2011

鎖骨下動脈，椎骨動脈狭窄病変に対する血行再建術

津浦　光晴[1]　寺田　友昭[2]　田中　優子[2]　吉村　良[2]　岡田　秀雄[2]
南都　昌孝[2]　新谷　亜紀[2]　津本　智幸[1]

要　旨：最近 4 年間に施行した鎖骨下動脈狭窄・閉塞，頭蓋外椎骨動脈狭窄に対する血管内治療の適応，手術手技，治療成績と問題点を報告する。成功率は約 90％で morbidity，mortality ともに 0％であり安全で有効な治療法である。可能な限り protection は併用している。椎骨動脈狭窄に対するステント留置後の再狭窄率は高く，今後の課題である。長期開存の成績を考慮に入れ，適応は慎重に選ぶ必要がある。
（J Jpn Coll Angiol, 2010, **50**: 737–743）

Key words: subclavian artery stenosis, vertebral artery stenosis, PTA, stenting, restenosis

はじめに

鎖骨下動脈狭窄，閉塞または頭蓋外椎骨動脈狭窄に対する血管内治療は直達手術による侵襲が大きいのに比べて局所麻酔下に施行でき合併症も少ないことから，早期より同部の血行再建術の一端を担ってきた。近年，器具および手技の進歩により鎖骨下動脈については狭窄病変のみならず完全閉塞例でもステント留置により再開通させることが可能となり，椎骨動脈起始部の狭窄病変に対しても位置決めが正確にできる balloon-expandable stent の使用により balloon を用いた経皮的血管拡張術（PTA: percutaneous transluminal angioplasty）では十分に得られなかった初期拡張が可能となっている。しかし椎骨動脈起始部狭窄のステント留置後に高率に再狭窄が報告され，長期の開存に疑問が生じるなど新たな問題点も指摘されてきた。今回，われわれが行っている鎖骨下動脈狭窄および閉塞，頭蓋外椎骨動脈狭窄に対する血管内治療の適応，手術手技，最近の治療成績と問題点について報告する。

臨床症状と血管内治療の適応

(1)鎖骨下動脈狭窄・閉塞病変の症状と治療適応

鎖骨下動脈狭窄・閉塞の臨床症状は上肢の虚血症状（arm claudication や末梢塞栓），椎骨脳底動脈系の虚血症状，内胸動脈を使用した冠動脈バイパス（CABG）後の狭心症（coronary subclavian steal syndrome）などが挙げられる。頻度としては上肢の虚血症状が多く，比較的椎骨脳底動脈系の虚血症状は少ないとされている。血管撮影上は病側の椎骨動脈の血流が逆行性になる鎖骨下盗血現象（subclavian steal phenomenon）がみられるが，ほとんどが無症候性で実際血行力学的に虚血症状を呈する症例（subclavian steal syndrome）は少ない。また椎骨脳底動脈系の虚血症状はめまい，ふらつき等で，意識障害や局所神経症状を呈することが少ないため，診断に苦慮することも多い。CABG 後の内胸動脈グラフト領域に虚血を生じる coronary subclavian steal syndrome は最近報告が増加しており，新たな鎖骨下動脈狭窄・閉塞の治療適応として注目されている[1, 2]。現在，われわれの手術適応は原則として(1)症候性（上肢虚血症状，椎骨脳底動脈虚血症状，狭心症など），(2)狭窄率が 70％以上を呈する症例である。ただし上肢の血圧の左右差が 20 mmHg 以上，また血液透析のシャント造設や CABG 予定患者で狭窄より末梢の血流を確保する目的で治療を考慮する場合がある。

(2)頭蓋外椎骨動脈狭窄の症状と治療適応

頭蓋外椎骨動脈狭窄病変の症状は椎骨脳底動脈領域の一過性脳虚血発作（TIA）または脳梗塞である。TIA,

[1] 日本赤十字社和歌山医療センター脳神経外科
[2] 和歌山労災病院脳神経外科

2010 年 4 月 8 日受理

脳梗塞を生じる機序として最も頻度が高いのは狭窄からの末梢塞栓であり，急激な発症で後大脳動脈領域などの梗塞をきたし出血性梗塞に移行しやすい特徴がある[3]。これに対して狭窄の進行～閉塞による血行力学的な虚血はより緩徐に進行し，数時間～数日にわたり症状が変動することがある。血管内治療の適応は原則として症候性で狭窄率が70%以上の病変であるが，無症候性であっても優位側(径の大きい)椎骨動脈に70%以上の狭窄が生じ，側副血行路の発達が悪いと思われる症例には脳血流検査などを参考にして治療適応に含める場合がある。後述するように椎骨動脈起始部狭窄のステント留置後再狭窄が高率に生じるという報告が多く，またステントを留置すると再狭窄に対するPTAなどが困難になると予想されるため，安易に無症候性病変に血管内治療を行うことは慎まなければならない。

血管内治療(PTA/stenting)の基本手技

(1)鎖骨下動脈狭窄・閉塞に対するPTA/stenting

PTA/stentingは原則として局所麻酔下，全身へパリン化を行って実施している。鎖骨下動脈狭窄・閉塞の場合はtransfemoralまたはtransbrachial approachのいずれかで治療が行われる。Transfemoral approachでは通常8-9 Frのガイディングカテーテルまたは6-7 Frのガイディングシースを用いているが，とくに鎖骨下動脈が起始部より閉塞している場合には安定した位置におくことが困難で支持が弱い。一方transbrachial approachでは6 Frガイディングシースを用い安定した支持が得られるが，時に穿刺が困難で局所穿刺部合併症に注意を要する。またtransbrachial approachで狭窄を越えて進めた長いガイドワイヤーを大腿動脈に留置したシースより体外に引き出すpull-through techniqueを用いると使用するデバイスが安定し支持も強固なため特に閉塞例で有用である[4]。Road-mapping下に慎重にガイドワイヤーを進め病変部を通過させるが，一度通過させた内腔はガイドワイヤーかカテーテルで手技終了時まで確保することが血管解離や急性閉塞の予防，対処として重要である。PTA balloonの径は遠位部正常血管径よりやや小さく長さは狭窄全体をカバーするものを選択している。以前は長いバルーンカテーテルにのせかえたPalmaz stentを使用していたため，PTA後に脱落防止のためガイディングカテーテル，シースで病変部を通過させる必要があったが，現在ではあらかじめバルーンにmountされているExpress stentやself-expandable stentであるSMART controlなどを使用するため脱落の危険はほとんどなくなった。また可能であれば椎骨動脈のprotectionを行っている。術前にsubclavian stealを呈していれば，PTAで内腔が拡張しても20秒～4分程度は椎骨動脈のflow reversalが持続するといわれているが，順行性の血流回復後にはprotectionは必要である[5]。また鎖骨下動脈の狭窄部が椎骨動脈起始部に近い場合PTAやステント留置時に椎骨動脈に狭窄や閉塞をきたす危険があり，椎骨動脈内腔をガイドワイヤーやバルーンで確保したりkissing balloon techniqueを用いる必要がある。通常PTA(前拡張)に続いてステント留置を行うが，ステントの径は正常血管径と同じで長さは狭窄全体をカバーするものを選択する。前述したようにEx-pressやSMART controlを使用するため脱落の危険は減少している。大動脈壁に近い狭窄や閉塞ではステントの後端が1～2 mm程度大動脈に突出するように留置する必要があり，位置決めが正確にできるballoon-expandable stentを選択する。一方，大動脈壁から距離があり屈曲の強い狭窄にはself-expandable stentを使用している。バルーンの形状に注意しながらゆっくりと加圧していき，dog bone状になった時点で位置の微調整を行い目的の径になるように加圧する。バルーンをdeflateし，ステントが血管壁に圧着していることを確かめて引き戻し，血管撮影で十分な拡張が得られていれば終了する。

代表例として左鎖骨下動脈閉塞に対してpull-through techniqueを用いてステント留置を行った症例(**Fig. 1**)，CABG後に生じた鎖骨下動脈狭窄に対してtransbrachial approachにてステントを留置した症例(**Fig. 2**)を提示する。

(2)頭蓋外椎骨動脈狭窄に対するPTA/stenting

PTA/stentingは局所麻酔下，全身へパリン化を行い実施している。まず鎖骨下動脈に留置する親カテーテルは，以前はPalmaz stentをremountして使用したため8 Frガイディングカテーテルが必要だったが，現在はremount不要のPalmaz genesisや冠動脈ステントを使用しており6 Frのガイディングカテーテルで十分である。ガイディングカテーテルは鎖骨下動脈内で安定するように支持の強いものを用いるが，時にガイディングカテーテルよりガイドワイヤーを鎖骨下動脈の末梢に入れておくdouble (buddy) wire techniqueや上肢の動脈より挿入したsnare wireでガイディングカテーテルを把持するなどの工夫を要することがある[6, 7]。またわれわれは原則としてPercu-surge Guardwire Systemによるdistal protectionを行って

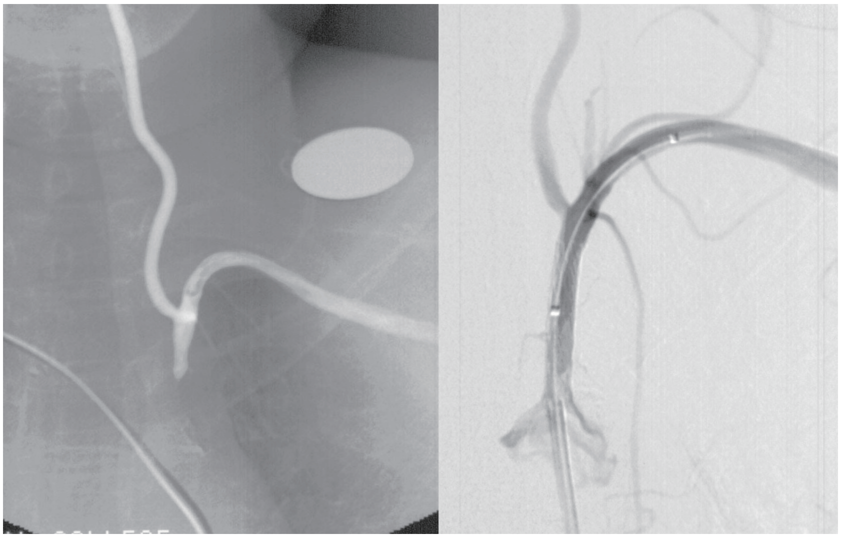

Figure 1　Complete total occlusion of left subclavian artery was successfully recanalized by PTA/stenting using the pull-through technique.

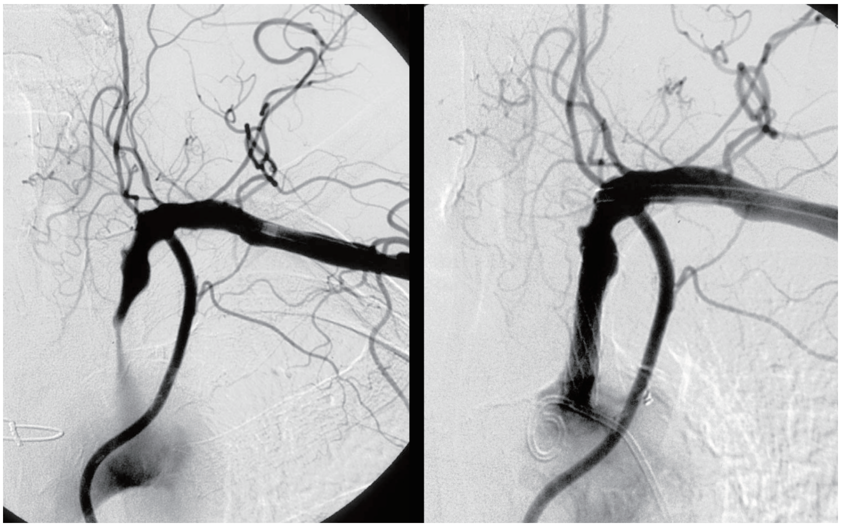

Figure 2　PTA/stenting of left subclavian artery stenosis after CABG was performed via a trans-brachial approach. Aspiration of the debris and blood through the guiding sheath immediately after balloon deflation prevented distal embolism.

いる。Roadmapping 下に慎重にバルーンか protection をしない場合はガイドワイヤーを通過させるが，一度通過させた内腔は必ずガイドワイヤーかカテーテルで終了時まで確保している。また椎骨動脈の屈曲，蛇行が強く protection device が進まない場合は buddy wire technique を併用する場合がある。PTA balloon の径は正常血管径よりやや小さく長さは狭窄全体をカバーするものを選択し，protection 下にゆっくりと加圧し目的の圧で約 1 分間拡張

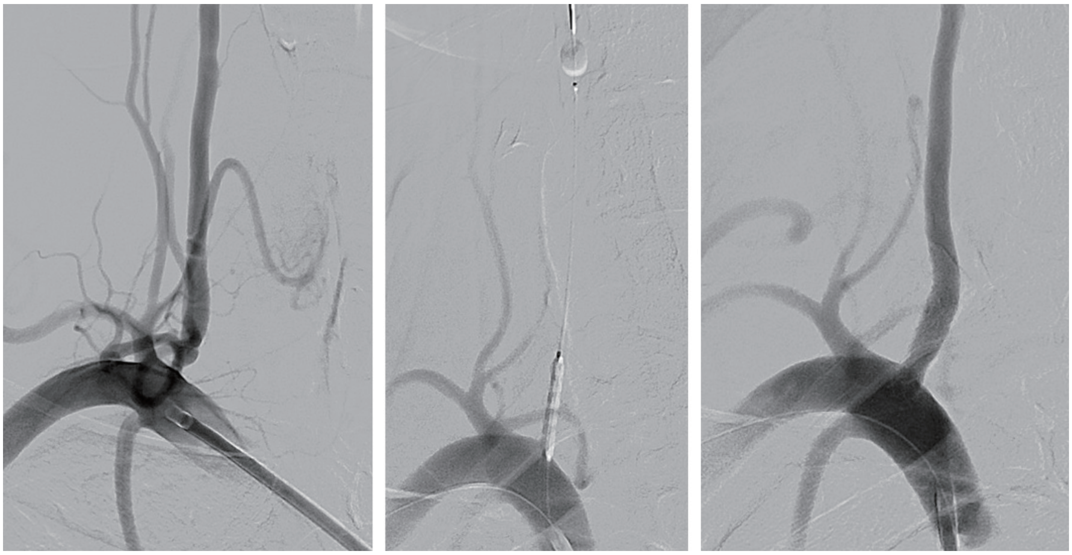

Figure 3 Deployment of the Palmaz Genesis under distal balloon protection resulted in a remarkable improvement of the vertebral artery origin stenosis.

を行っている。PTA のみでステントを留置しない場合は aspiration catheter を protection balloon 直下に進めて血液を吸引除去してから protection を解除する。この部位のステント留置は後述するように再狭窄率が高いため，PTA のみで十分な拡張が得られればあえてステントを留置しない方針にしている。しかし dissection や recoil などでステント留置が必要な場合は，現在椎骨動脈径が 4 mm 以上の場合 Palmaz genesis，3 mm 以下の場合は冠動脈用のステントを選択している。起始部の狭窄ではステントの後端が 1～2 mm 程度鎖骨下動脈に突出するように留置する必要があり，バルーンの形状に注意しながらゆっくりと加圧し，dog bone 状になった時点で位置の微調整を行い目的の径になるようにする。バルーンを deflate 後 balloon catheter を動かしステントが血管壁に圧着していることを確かめて引き戻し，aspiration catheter で血液を吸引後，protection を解除する。血管撮影で十分な拡張とステントの固定が得られていれば終了する。

代表例としてに右椎骨動脈起始部狭窄に対して distal protection を用いて Palmaz genesis 留置を行った症例を提示する（**Fig. 3**）。

血管内治療の術前，術後管理

原則として術前は少なくとも 3 日から 1 週間以上，抗血小板剤を 1 剤以上服用させ，術後は服薬可能であれば直ちに抗血小板剤を開始し 1～2 カ月投与する。術中は抗凝固を行い，ヘパリンを用いて ACT を 250 sec 以上に延長させ，術後は数時間から 48 時間程度続行する。術後の血管撮影で血栓形成やプラークの突出など血管壁の状態が悪く，閉塞や再狭窄が起こりやすいと判断すれば長期に抗凝固療法を続けている。また術後再狭窄の程度を調べるため約 6 カ月後に follow-up DSA を行っている。

PTA/stenting の治療成績

(1)鎖骨下動脈狭窄・閉塞の治療成績

最近 4 年間にわれわれ 2 施設で行った 25 例の成績は technical success rate が 96%（24 例 / 25 例）で，合併症は全くなく morbidity 0%，mortality 0%であった。経過観察中に再狭窄，再閉塞は 1 例，4%に認められた。最近の諸家の報告でも technical success rate は約 90～100%であり，われわれの成績と同程度であった。また合併症は Brountzos らは 0～10%でうち stroke が 0.9～1.4%で死亡がなく，Wholey らは 2%，Sixt らは持続する神経学的合併症はなかったと報告しており，全体として 0 ～ 2%程度でほとんど生じないと考えられる。また再狭窄，再閉塞については Brountzos らは 0～16%，Wholey らは 0～18%，Sixt らは 12%と報告しており，20%以下の少ない

報告が多い[8~10]。鎖骨下動脈狭窄・閉塞に対するPTA/stentingは現在成功率の高い合併症や再狭窄の少ない有用な治療法と考えられる。

(2)頭蓋外椎骨動脈狭窄の治療成績

2施設で4年間に行った15例を検討すると，うち8例にPTAのみ，7例にステント留置が行われており，technical success rateは15例中13例で87%，合併症はなくmorbidity，mortalityともに0%であった。ただし経過観察中に再狭窄は3例，20%に生じた。最近の諸家の報告ではtechnical success rateは94～100%であり，early complication rateが0～10%，early stroke/deathが0～6.25%と，良好な結果であった[11]。ただし狭窄率50%以上の再狭窄に関してはAlbuquerqueらは43.3%(16.2カ月)，Janssensらは25%(35カ月)，Weberらは36%(11カ月)と報告しており，高い数値である[12~14]。再狭窄の91～100%が無症候性とされているが，この部位のPTA/stentingでは長期開存が今後の課題である。

PTA/stentingの問題点

(1)鎖骨下動脈狭窄・閉塞に対するPTA/stentingの問題点

鎖骨下動脈狭窄・閉塞ではまず椎骨動脈のprotectionの必要性がある。Subclavian steal phenomenonになっていれば狭窄が改善されても最初の20秒から4分程度はflow reversalが持続するという報告があるが，椎骨動脈に順行性の血流が回復した後には末梢塞栓を生じるリスクが高くなるため，1回のバルーンの加圧で手技を終了できる場合以外はprotectionを併用したほうが良い[4,5]。Protectionとしてわれわれは椎骨動脈の血流をPercusurgeなどのバルーンで直接遮断する方法か，transbrachial approachでガイディングシースを進めPTAバルーンを縮小すると同時にガイディングシースより血液を吸引する方法か，いずれかを用いており最近は症候性の末梢塞栓を経験していない。また狭窄が椎骨動脈起始部に及ぶ場合plaque shiftなどで椎骨動脈の閉塞する恐れやステント自体が起始部にかかってjailingの状態になる問題がある。今のところ椎骨動脈内腔をガイドワイヤーやバルーンで確保して手技を行うか，kissing balloon techniqueを用いるのが一般的だが，今後は冠動脈領域で報告されているように鎖骨下動脈，椎骨動脈の両方にステントを留置して内腔を保つ工夫が必要かも知れない。また鎖骨下動脈狭窄に比べて閉塞例では再狭窄，再閉塞が多いといわれており，将来drug-eluting stent(DES)が有用な可能性がある。

(2)頭蓋外椎骨動脈狭窄に対するPTA/stentingの問題点

椎骨動脈起始部の狭窄は以前よりfibrous smooth plaqueであり，distal embolismの頻度は低いと考えられてきた。また椎骨動脈の屈曲，蛇行が強くデバイスを進めることが困難なこともあり，protectionを行わずにPTA/stentingが行われてきた。しかし手技に伴い高率にdebrisが生じるという報告も散見され，われわれは可能な限りdistal protection下に手技を行っている[15]。特に血栓や潰瘍を伴うhigh riskの病変やデバイスの誘導が容易な症例では行ったほうが良いと考えている。また椎骨動脈起始部狭窄の最大の問題点はステント留置後の再狭窄であろう。最近では16～43%の頻度と報告されており，内頸動脈起始部病変などと比べても高率である。ただし90%以上が無症候性とされており，これは再狭窄をきたしてもstent meshの上にできたfibrous neointimal tissueが血栓形成を防ぐ保護層として働くと推測されている。加えて入口部病変では鎖骨下動脈へ突出させるようにステントを留置するため，再狭窄時にバルーンなどのデバイスの誘導に困難が予想される。また径の小さい椎骨動脈では再狭窄が起こりやすいため，現状ではバルーンによるPTAのみで拡張が得られればあえてステントを留置せずに経過をみるほうが良い。径4 mm以上の椎骨動脈狭窄やdissection，elastic recoilをきたした病変には積極的にステント留置が考慮されてよいと思われる。最近再狭窄率の高いことから海外ではこの部位の病変にsilorimusやpaclitaxelを用いたdrug-eluting stent(DES)の使用報告が増加している。Guptaらは7%，Akinsらは0%，Vajdaらは12%の再狭窄率を報告しており，概ねDESの成績は良好と思われる[16~18]。冠動脈領域で指摘されているようにlate stent thrombosisのリスクが高く長期にわたる抗血小板剤の服用が必要なため，出血性合併症が高くなるというジレンマはあるが，今後期待される治療法のひとつである。

さらに椎骨動脈起始部狭窄ではステント留置の際に正確な位置決めを要するためballoon-expandable stentが使用されているが，最近留置後のステントの破損，変形といったstent fractureの報告も散見される[19]。予想以上に鎖骨下動脈，椎骨動脈は体動とともに動いており留置したステントにかかるストレスは大きいことを再認識する必要がある。現時点では不必要に長いステントを用いないように注意すべきであるが，将来はより柔軟で耐久性のあるステントの開発が望まれる。

鎖骨下動脈狭窄・閉塞，頭蓋外椎骨動脈狭窄に対する血管内治療の将来展望

すでに述べたように，鎖骨下動脈病変については現在狭窄のみならず閉塞に対しても良好な治療成績，長期開存が得られており，安全で有効な PTA/stenting の必要性はますます高まっている。椎骨動脈起始部病変では再狭窄が問題であり，現時点では無理にステントを留置せず，PTA のみで経過をみるのも選択肢の一つと思われる。合併症が少ないため安易に血管内治療が行われる傾向にあるが，再狭窄など長期成績も考慮し適応を慎重に決定し無理をしないことが重要である。

文　献

1) Sadek MM, Ravindran A, Marcuzzi D et al: Complete occlusion of the proximal subclavian artery post-CABG: presentation and treatment. Can J Cardiol, 2008, **24**: 591–592.
2) Rogers JH, Calhoun RF: Diagnosis and management of subclavian artery stenosis prior to coronary artery bypass grafting in the current era. J Card Surg, 2007, **22**: 20–25.
3) Wityk RJ, Chang HM, Rosengart A et al: Proximal extracranial VA disease in the New England medical center posterior circulation registry. Arch Neurol, 1998, **55**: 470–478.
4) Sadato A, Satow T, Ishii A et al: Endovascular recanalization of subclavian artery occlusions. Neurol Med Chir (Tokyo), 2004, **44**: 447–455.
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) Kizilkilic O: Vertebral artery origin stenting with buddy wire technique in tortuous subclavian artery. Eur J Radiol, 2007, **61**: 120–123.
7) Wehman JC, Hanel RA, Guidot CA et al: Atherosclerotic occlusive extracranial vertebral artery disease: indications for intervention, endvascular technique, short-term and long-term results. J Interv Cardiol, 2004, **17**: 219–232.
8) Brountzos EN, Malagari K, Kelekis DA et al: Endovascular treatment of occlusive lesions of the subclavian and innominate arteries. Cardiovasc Intervent Radiol, 2006, **29**: 503–510.
9) Wholey MH, Wohley MH: The supraaortic and vertebral endovascular intervention. Techniques in Vascular and Interventional Radiology. Elsevier Inc, 2005, 215–225.
10) Sixt S, Rastan A, Schwarzwalder U et al: Results after balloon angioplasty or stenting of atherosclerotic subclavian artery obstruction. Catheter Cardiovasc Interv, 2009, **73**: 395–403.
11) Henry M, Polydorou A, Henry L et al: Angioplasty and stenting of extraclanial vertebral artery stenosis. Int Angiol, 2005, **24**: 311–324.
12) Albuquerque FC, Fiorella D, Han P et al: A reappraisal of angioplasty and stenting for the treatment of vertebral origin stenosis. Neurosurgery, 2003, **53**: 607–614.
13) Janssens E, Leclerc X, Gautier C et al: Percutaneous transluminal angioplasty of proximal vertebral artery stenosis: long-term clinical follow-up of 16 consecutive patients. Neuroradiology, 2004, **46**: 81–84.
14) Weber W, Mayer TE, Henkes H et al: Efficacy of stent angioplasty for symptomatic stenoses of the proximal vertebral artery. Eur J Radiol, 2005, **56**: 240–247.
15) Divani AA, Berezina TL, Zhou J et al: Microscopic and macroscopic evaluation of emboli captured during angioplasty and stent procedures in extracranial vertebral and internaql carotid arteries. J Endovasc Ther, 2008, **15**: 263–269.
16) Gupta R, Al-Ali F, Thomas AJ et al: Safety, feasibility, and short-term follow-up of drug-eluting stent placement in the intracranial and extracranial circulation. Stroke, 2006, **37**: 2562–2566.
17) Akins PT, Kerber CW, Pakbaz RS et al: Stenting of vertebral artery origin atherosclerosis in high-risk patients: Bare or coated? A single-center consecutive case series. J Invasive Cardiol, 2008, **20**: 14–20.
18) Vajda Z, Miloslavski E, Guthe T et al: Treatment of stenoses of vertebral artery origin using short drug-eluting coronary stents: Improved follow-up results. Am J Neuroradiol, 2009, **30**: 1653–1656.
19) Kim SR, Baik MW, Yoo SH et al: Stent fracture and restenosis after placement of a drug-eluting device in the vertebral artery origin and treatment with the stent-in-stent technique. J Neurosurg, 2007, **106**: 907–911.

Endovascular Reconstruction for Stenotic or Occlusive Lesions of Subclavian and Vertebral Artery

Mitsuharu Tsuura,[1] Tomoaki Terada,[2] Yuko Tanaka,[2] Ryo Yoshimura,[2] Hideo Okada,[2] Masataka Nanto,[2] Aki Shintani,[2] and Tomoyuki Tsumoto[1]

[1]Department of Neurological Surgery, Japanese Red Cross Society Wakayama Medical Center, Wakayama, Japan
[2]Department of Neurological Surgery, Wakayama Rosai Hospital, Wakayama, Japan

Key words: subclavian artery stenosis, vertebral artery stenosis, PTA, stenting, restenosis

Recently, PTA/stenting has been reported as an safe and less invasive option for treating subclavian artery stenosis/occlusion (SAS/O) and extracranial vertebral artery stenosis (VAS). We reviewed our experience of PTA/stenting for 25 patients with SAS/O and 15 patients with VAS (PTA alone in 8 cases and stenting in 7 cases) over the past 4 years. In cases of SAS/O, the technical success rate was 96%, and the 30-day morbidity and mortality rates were both 0%. In the VAS cases, the technical success rate was 87%, and there were no procedural complications or deaths. Restenosis (more than 50%) occurred in one cases (4%) of SAS/O and three cases (20%) of VAS during follow-up. Use of a protection device, the kissing balloon technique, or pull-through technique can enhance the outcome of PTA/stenting even when the subclavian artery is totally occluded. Although high rate of restenosis is still a major problem after stenting of the VAS, drug-eluting stents may be feasible and promising in terms of preventing recurrent ischemia in the future. We suggest that PTA/stenting for SAS/O and VAS appears feasible and safe; however, strict indications are needed because the long-term patency is still unknown, especially after stent placement in VAS cases.

(J Jpn Coll Angiol, 2010, **50**: 737–743)

Online publication January 14, 2011