

原著

プラーク性状に準じた CAS と CEA の使い分けおよび CAS protection
device の使い分け

澤田元史、八十川雄図、水谷大佑

松波総合病院脳神経外科

連絡先：澤田元史

社会医療法人蘇西厚生会 松波総合病院脳神経外科

〒501-6062 岐阜県羽島郡笠松町田代 185-1

TEL: 058-388-0111 / FAX: 058-388-2391

E-mail: sawada4747@yahoo.co.jp

Original article

Appropriate selection of CAS or CEA and proper use of protection
device in the event of CAS according to carotid plaque characteristics

Motoshi SAWADA, Yuto YASOKAWA, Daisuke MIZUTANI

Department of Neurosurgery, Matsunami General Hospital

185-1, Dendai, Kasamatsu-cho, Hashima-gun, Gifu, 501-6062, Japan

TEL: 058-388-0111 / FAX: 058-388-2391

E-mail: sawada4747@yahoo.co.jp

Key words: CAS, carotid artery stenosis, CEA, embolic protection
device, vulnerable plaque

本論文を、日本脳神経血管内治療学会機関誌「JNET」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

要旨

【目的】頸動脈プラークの性状評価に応じた、頸動脈内膜剥離術(CEA)と頸動脈ステント留置術(CAS)及びCASの塞栓保護デバイス選択の臨床的有用性を検討する。【方法】2011年8月から2015年8月までに経験した頸動脈狭窄256病変中、外科治療を実施した180病変を検討対象とした。頸動脈プラーク性状は、MRI T1及びT2強調像における胸鎖乳突筋と頸動脈プラークの信号比(signal intensity ratio of carotid plaque against sternocleidomastoid muscle: Sp/Sm)をもとに評価した。治療方法は、SAPPHIREのCEA非高危険群でT1あるいはT2強調像におけるSp/Sm値のいずれかが2以上の場合にCEAを選択した。Sp/Sm値がT1、T2ともに2未満の場合にはCASを選択した。CASの手技はSp/Sm値に応じて塞栓保護デバイスを選択し、T1あるいはT2のどちらかが $Sp/Sm \geq 3$ にバルーン(GuardWire PS/Mo.Ma Ultra)、 $Sp/Sm < 3$ にフィルターを使用し、 $2 \leq Sp/Sm < 3$ にはFilter wire EZ/Spider FX、T1とT2がともに $Sp/Sm < 2$ にAngioguard XPを選択した。本治療戦略の有効性は、周術期脳梗塞及び治療後のDWI陽性率をもとに評価した。【結果】 $Sp/Sm \geq 3$ の80例中30例にCEA、50例にバルーンを用いたCAS、 $2 \leq Sp/Sm < 3$ の88例中9例にCEA、79例にFilter wire EZ/Spider FXを用いたCAS、 $Sp/Sm < 2$ の12例にAngioguard XPを用いたCASが実施された。周術期脳梗塞はCEA 0%、CASは2.1%(3/141)で、いずれも $2 \leq Sp/Sm < 3$ にフィルターを使用したCASで認められた。DWI陽性率はCEA 0%、CASは24%(34/141)で、塞栓保護デバイス別にAngioguard XP 0%、GuardWire PS/Mo.Ma Ultra 14%(7/50)、

Filter wire EZ/Spider FX 34%(27/79)であった。プラーク性状別では、T1かT2の一方で $2 \leq \text{Sp}/\text{Sm} < 3$ の場合はDWI陽性率が15%(6/40)で、T1、T2ともに $2 \leq \text{Sp}/\text{Sm} < 3$ の場合には54%(21/39)で有意差を認めた($p < 0.001$)。【結論】本研究から、CEAの治療成績はプラーク性状には影響されず、プラーク性状評価をもとにCEAとCASの選択を行うことの妥当性が示された。SAPPHIREのエビデンスに則ってCASを実施する場合、MRIプラークイメージのSp/Sm比に応じて塞栓保護デバイスを選択することは塞栓性合併症の低減のために有効で、 $\text{Sp}/\text{Sm} > 3$ にはバルーンによる塞栓保護の有効性が示唆された。またT1、T2ともに $2 \leq \text{Sp}/\text{Sm} < 3$ の場合にはフィルターデバイスの使用に慎重を期すべきである。

Abstract

Objective: To assess selection of carotid endarterectomy (CEA) or carotid artery stenting (CAS) and choice of embolic protection device (EPD) on the basis of preoperative magnetic resonance (MR) plaque image such as Sp/Sm (signal intensity ratio of carotid plaque against sternocleidomastoid muscle).

Methods: Between August 2011 and August 2015, 180 patients who underwent CEA or CAS at our institution were retrospectively analyzed. CEA was selected when soft plaque was suspected by plaque image of $Sp/Sm \geq 2$, in contrast, CAS was indicated for patients with surgically high risk condition and for patients with plaque image of $Sp/Sm < 2$. Moreover, EPD was chosen by means of plaque characterization such as Angioguard XP for $Sp/Sm < 2$, Filter wire EZ or Spider FX for $2 \leq Sp/Sm < 3$, and balloon (GuardWire PS/Mo.Ma Ultra) for $3 \leq Sp/Sm$. Then, we compared perioperative complication rate and hyperintensity rate on diffusion-weighted image (DWI) postoperatively.

Results: In 80 cases with $3 \leq Sp/Sm$, CEA was performed for 30 cases and CAS using balloon for 50 cases. In 88 cases with $2 \leq Sp/Sm < 3$, CEA was performed for 9 cases and CAS using Filter wire EZ or Spider FX for 79 cases. Residual 12 cases with $Sp/Sm < 2$ were treated with CAS using Angioguard XP. Complication rate was 2.1% in CAS and 0% in CEA. Asymptomatic hyperintensities on DWI after revascularization were detected in 24% of CAS patients and 0% of CEA patients. As for EPD, 27 of 79 CAS patients treated with Filter wire EZ or Spider FX had

hyperintensities on DWI and hyperintensities were mostly observed in 21 of 39 patients with $2 \leq \text{Sp}/\text{Sm} < 3$ on both T1- and T2-weighted images, but not in 6 of 40 patients with $2 \leq \text{Sp}/\text{Sm} < 3$ on either T1- or T2-weighted image.

Conclusion: Clinical outcome of patients treated with CEA was acceptable regardless of their carotid plaque components, if SAPPHERE CEA high risk group is accurately excluded. Considering that balloon protection should be used as EPD against soft plaque with $2 \leq \text{Sp}/\text{Sm} < 3$ on both T1- and T2-weighted images, selection of CEA or CAS and EPD based on MR plaque characteristics such as Sp/Sm is useful strategy.

Key words

CAS, carotid artery stenosis, CEA, embolic protection device, vulnerable plaque

緒言

頰動脈狭窄症に対する外科治療法である Carotid artery stenting (CAS)と Carotid endarterectomy (CEA)の各々の治療数の推移に影響を与えた2つの重要なランダム化比較試験としてSAPPHIRE¹⁾とCREST^{2,3)}があり、これらの結果から現在ではCASはCEAと同等の効果を得られる治療法であると認知されている。しかし、CASはCEAと比較して術後のMRI拡散強調画像(diffusion weighted image: DWI)で陽性率が多いことが報告されており^{3,4)}、CASを選択した場合には可能な限り周術期の血栓塞栓症を少なくすることが重要である。周術期血栓塞栓症に影響する要因として頰動脈プラークの性状が重要であり、近年MRIを用いた頰動脈プラーク性状診断が注目され、その有用性が報告されている^{5,6)}。MRIで高信号を呈する不安定プラークに対するCASでは脳虚血性合併症の頻度が高いことが報告され^{7,8)}、この塞栓症予防に様々な塞栓保護デバイス(embolic protection device: EPD)が認可され使用されているが、MRIによる頰動脈プラーク性状とEPD選別の相関についての詳細な報告はない。そこでCASかCEAかの治療法の選択だけでなく、CASを施行する際のEPDをプラーク性状評価に応じて選択したので、その臨床的有用性を検討する。

対象と方法

2011年8月から2015年8月までに当院において経験した頰動脈狭窄256病変中、外科治療を施行した180病変を対象とした。性別は男性138例、女性42例、年齢は52～88歳 (mean±standard [SD]: 75.8±8.2

歳)、症候性病変は162例、無症候性病変は18例、病側は右95例、左85例、平均狭窄率は74%であった。CEA及びCASの共通の適応基準としてSAPPHIRE trial¹⁾に準じて症候性50%以上、無症候性80%以上とした。CEAとCASの選択については、全例で術前にMRIによる頸動脈プラーク性状評価を施行し、その結果を重視し治療法を選択したが、SAPPHIREのCEA高危険群¹⁾(臨床的に問題のある心肺合併症、対側頸動脈閉塞、対側喉頭神経麻痺、頸部放射線治療後、CEA術後再狭窄、80歳以上の高齢者)に加えて第2頸椎上縁以上の高位病変は不安定プラークであっても、病変へのアクセスルートが困難でないことを確認の上でCASを選択した。

1. MRIによる頸動脈プラーク性状診断

MRI装置はGE社製1.5T Signa HDxt Optima Edition Flex-S coilを用いた脂肪抑制2D spin-echo black blood technique(BB法)T1強調像及びT2強調像の両方でプラークの性状評価を行った。撮像条件はBB T1:TR/TE 700~1000/6.7msec, FOV 180mm, FA 90°, BB T2:TR/TE 1480/8.6msec, FOV 180mm, FA 90°, Matrix size 256×192, Section thickness 3mm, Scan time 5~7minとした。BB法による信号強度の判定は我々が以前報告したように胸鎖乳突筋に対するプラーク信号強度(signal intensity ratio of carotid plaque against sternocleidomastoid muscle: Sp/Sm)が2をcut off値として¹⁰⁾、T1かT2いずれかが2倍以上の高信号を呈する場合には不安定プラーク、T1とT2どちらも2倍未満の低信号を呈する場合には安定プラークと判定したところ、不安定プラークが168例、安定プラークが12例となった。安定プラーク12例は全例CASで治療した一方、不安定プラークは第2頸椎上縁より高

位病変を含めた SAPPHERE の CEA 高危険群¹⁾については CEA ではなくアクセスルートを確認した上で CAS を選択したため、実際には不安定プラーク 168 例中 CEA で治療したのは 39 例で、残り 129 例の不安定プラークは CAS で治療した (Fig. 1)。

2. CEA 及び CAS の手術手技

CEA は全身麻酔下に行い、頸動脈遮断時の内シャントはルーチンに全例で使用して治療した。

CAS は全例局所麻酔下に行い、EPD を全例に使用したがその選択に関しては、T1 か T2 いずれかが $Sp/Sm \geq 2$ の不安定プラークにはエパデール S1800mg/日 と クレストール 5mg/日 を 1 ヶ月間内服した後、MR プラーク性状を再評価した上で、T1 か T2 いずれかが $Sp/Sm \geq 3$ の過度な不安定プラークには GuardWire PS (Medtronic, Santa Rosa, CA, USA) or Mo.Ma Ultra (Medtronic, Minneapolis, MN, USA)、T1 か T2 いずれかが $2 \leq Sp/Sm < 3$ の不安定プラークには Filter wire EZ (Boston Scientific, Natick, MA, USA) or Spider FX (eV3 Covidien, Irvine, CA, USA)、T1 と T2 どちらも $Sp/Sm < 2$ の安定プラークには Angioguard XP (Cordis Endovascular, Miami Lakes, FL, USA) と、内服後の Sp/Sm 値に応じて EPD を選別して治療した (Fig. 2)。CEA、CAS 両群とも術後 1 ~ 2 日以内に DWI を行い、CEA 群 39 例、CAS 群 141 例で術後 30 日以内の周術期の治療側虚血性脳血管障害の発生率及び DWI における無症候性高信号の陽性率を比較検討した。検討項目の比率の比較には Fisher 検定を用い、 $p < 0.05$ を有意とした。

結果

Sp/Sm \geq 3の過度な不安定プラーク80例中30例はCEA、50例はバルーンを用いたCASで治療し、 $2\leq$ Sp/Sm $<$ 3の不安定プラーク88例中9例はCEA、79例はFilter wire EZ or Spider FXを用いたCASで治療し、Sp/Sm $<$ 2の安定プラーク12例は全例Angioguard XPを用いたCASで治療した。その結果、周術期の治療側脳梗塞合併症率はCEA0%、CASは2.1%(3/141)で、この3例全例がフィルターを使用したCASで認められた。術後DWI陽性率はCEA0%、CASは24%(34/141)で、EPD別ではAngioguard XP 0%、GuardWire PS/Mo.Ma Ultra 14%(7/50)、Filter wire EZ or Spider FX 34%(27/79)であった。Filter wire EZ or Spider FXの内訳としてT1かT2のいずれか一方が $2\leq$ Sp/Sm $<$ 3（T1のみ高信号が17%(3/18)、T2のみ高信号が14%(3/22)）は15%(6/40)、T1とT2の両方が $2\leq$ Sp/Sm $<$ 3は54%(21/39)で、 $p < 0.001$ と有意に高率であった (Table 1)。

考察

今回の検討からCEA群はSp/Sm比に寄らず周術期合併症率もDWI陽性率も皆無であった一方、CAS群では高位病変を含めたSAPPHIRE CEA高危険群でSp/Sm比の高い不安定プラークが治療対象になったにも関わらず、Sp/Sm比に応じて塞栓保護デバイスを選別したことで、比較的良好な治療成績となった。CEAは遮断下に頸動脈プラークを摘出するため、そのプラーク性状は手術リスクに関与しないと推測され、過去の報告でも無症候性DWI高信号はCEAに比べCASで多いと言われている^{4,5)}。従って、無症候性DWI高信号の成因や病的意義については不明な点もあるが、術中の遠位塞栓防止という観点からはCAS

よりもCEAの方が優れている可能性がある。これまでに行われたCEAとCASのランダム化比較試験には^{1,2,11,12)}、プラーク性状を考慮して両者の臨床成績の比較を行った報告はない。今回、我々はMRプラーク診断に準じたCEAとCASの治療選択の是非を検討したが、SAPPHIREでのCEA高危険群に加え高位病変も避けたことがCEAの好成績に繋がった可能性がある。今後、CEAとCASの選択においては、全身状態などを中心としたCEAのリスクとプラーク性状を中心としたCASのリスクの両者を相対的に評価することが重要である。

頸動脈プラークは内腔の狭窄や閉塞をきたすだけでなく、その脆弱性から動脈原性脳塞栓症の原因にもなる¹³⁻¹⁵⁾。近年、CASでの様々なEPDの保険適応が認可されて以降CASの治療件数は増加し、それとともに遠位塞栓や手技中のフィルターの目詰まりなどCASの危険性も認識されてきた。そんな中、頸動脈プラークのMRイメージで血管内腔の信号を抑制するblack-blood法によりプラークの性状診断・脆弱性の正確な評価が可能となり、CASで合併症をきたし易い不安定プラークの術前診断に応用されている¹⁶⁻¹⁹⁾。危険性の高い不安定プラークは柔らかく、被膜が薄く、大きな粥腫やプラーク内血腫を含むプラークであり¹⁴⁻²⁰⁾、Table 2に示すように、血腫あるいは粥腫の成分は各々、脂肪抑制T1強調像あるいは脂肪抑制T2強調像で高信号(顎下腺や耳下腺の信号強度を基準とする)を呈する^{16,17)}。一方の安定プラークは硬く、被膜が厚く、線維化、器質化、石灰化を主体としており、脂肪抑制T1強調像と脂肪抑制T2強調像の両方で等信号あるいは低信号を呈すると言われ¹⁵⁻¹⁹⁾、MRイメージは頸動脈プラークの構成成分を正確に捉えることができると考えられている。我々は頸動脈狭窄症に対す

る外科治療として、CASかCEAかの選択にこのプラーク性状評価を重視し、以前に報告したようにMRIでのSp/Smで2をcut off値として選択してきた¹⁰⁾。その結果、180例中不安定プラークが168例、安定プラークが12例となり、高位病変を含めたSAPPHIREのCEA高危険群には無理してCEAを選択せず、アクセスルートを確認した上でCASを選択したため、実際には不安定プラーク168例中CEAで治療したのは39例で、残り129例の不安定プラークはCASで治療することになった。この治療数の偏りの理由として、連携医の中の心疾患に特化したハートセンターからの紹介患者が多く、臨床的に問題のある心血管合併症患者が多かったためCAS治療数が多くなったと分析している。

頸動脈狭窄症に対してEPDを用いたCASは、CEA高危険群に対する非劣性が証明され¹⁾、そのEPDにはdistal protectionとしてballoonおよびfilter device、proximal protectionとしてdouble balloon catheterが使用され、病変部の近位側にballoonを置きflow reversalによりdebrisを排除するためCASでhigh riskとされてきたvulnerable plaque症例に対しても、その安全性が報告されている²¹⁾。Balloon protectionの欠点は虚血耐性の問題が報告されているが²²⁾、filter protectionは血流維持が可能で虚血耐性に関しては問題がない。しかしfilterのpore size以下の大きさのdebrisや液状プラークの場合あるいはfilterと血管壁に隙間が生じた場合にdebrisがfilterを通過する危険性があるとされている^{23~25)}。過去の報告ではCAS後のDWI陽性率は12.9~87.1%とかなり幅があり^{26,27)}、protection法のみではなく、プラークの性状やステントの相違など複数の因子が関与していると思われ

るが、こういった症例に現在 available な 5 種類のどの EPD を使用すべきかの consensus はいまだ得られておらず、施設ごとに任されているのが現状である。そこで今回我々は、CAS と CEA の選択に利用した Sp/Sm 値を EPD の選別にも応用した。即ち、 $Sp/Sm \geq 3$ の過度な不安定プラークは液状プラークの可能性も懸念されるため filter protection では不十分と判断し balloon protection を選択し、 $2 \leq Sp/Sm < 3$ の不安定プラークには Filter wire EZ or Spider FX を、 $Sp/Sm < 2$ の安定プラークには Angioguard XP と選別した。その結果、術後 DWI 陽性率は Filter wire EZ or Spider FX 群で 34% (27/79) と最も高率で、その内訳として T1 か T2 いずれか一方が $2 \leq Sp/Sm < 3$ の症例では 15% (6/40) と許容範囲内であったのに対し、T1 と T2 両方が $2 \leq Sp/Sm < 3$ の症例では 54% (21/39) と統計学的に有意に高率であった。この結果から、T1、T2 共に $2 \leq Sp/Sm < 3$ の症例に対する protection は filter より捕捉力が高く血栓塞栓性合併症が低いとされる balloon²⁸⁾ を使用すれば、より良好な成績が得られた可能性がある。

冠動脈プラークではスタチンによる薬物療法が粥腫の縮小に有効である可能性が示唆されており^{29,30)}、頸動脈プラークにおいてもスタチンの有用性が報告され、粥腫やプラーク内出血で構成される危険性の高い不安定プラークの中には経時的に低信号化する症例がある。即ち、保存的治療により粥腫やプラーク内出血が線維化プラークに変化し退縮することが期待され、スタチンを 24 ヶ月間通常量と高用量を投与した群間で、頸動脈プラークの体積は両群間で有意差はみられなかったものの、脂質に富む粥腫の割合はスタチン高用量群で 41.4% 低下したという報告がある³⁰⁾。我々も不安定プラークに対する CAS 前 1 ヶ月間のスタ

チンとEPA併用内服の有用性を報告しており¹⁰⁾、スタチンやEPAの投与によって不安定プラークの修復・改善が期待される。実際、我々は本報において不安定プラークに対しCASを選択しなければならない場合、クレストール5mg/日とエパデールS1800mg/日を1ヶ月間内服した後、MRプラーク性状を再評価した上でのSp/Sm値に応じてEPDを決定し治療した。その結果、諸家による過去のDWI陽性率の報告^{26,27)}に比べ良好な成績に繋がったと考えられ、今後は危険性の高い不安定プラークが安定化するまでスタチンやEPAなどの保存的加療で待機し、その後にCASを行う待機的治療が期待される。

本研究の限界として、単一施設での後方視的検討であること、対照群がないこと、症例数が限られており統計学的検出力が十分でないことが挙げられる。またSp/Smの値を3つに分け、各々のカテゴリーにEPDを1つのみ選択していることからEPDの優劣によるものか、プラーク性状によるものかの判定が困難ではあるが、術前のプラーク性状評価に準じた外科治療法の選択及びEPDの選別は実際の臨床上で有用性が高いと考えられる。

結語

CEAの治療成績はプラーク性状には影響されず、プラーク性状評価をもとにCEAとCASの選択を行うことの妥当性が示された。SAPPHIREのエビデンスに則ってCASを実施する場合、MRIプラークイメージのSp/Sm比に応じて塞栓保護デバイスを選択することは塞栓性合併症の低減のために有効で、Sp/Sm>3にはバルーンによる塞

栓保護の有効性が示唆された。またT1、T2共に $2 \leq Sp/Sm < 3$ の場合へのフィルターによる塞栓保護には慎重を期すべきである。

CEAとCASは対立した治療法ではなく、プラーク性状に準じて症例を丁寧に選別し両治療法を相補的に選択することで、頸動脈狭窄症の外科治療全体の治療成績を向上させ得るものである。

本論文の要旨は、第31回日本脳神経血管内治療学会総会（岡山）において発表した。筆頭著者および共著者全員は本論文の発表に関して開示すべき利害相反はない。

文献

- 1) Yadav JS, Wholey MH, Kuntz RE, et al. Protected carotid-artery stenting versus endarterectomy in high-risk patients. *N Engl J Med* 2004; 351: 1493-1501.
- 2) Brott TG, Hobson RW 2nd, Howard G, et al. Stenting versus endarterectomy for treatment of carotid-artery stenosis. *N Engl J Med* 2010; 363: 11-23.
- 3) Brott TG, Howard G, Roubin GS, et al. Long-term results of stenting versus endarterectomy for carotid-artery stenosis. *N Engl J Med* 2016; 374: 1021-1031.
- 4) Falch HZ, Ouhlous M, Hendriks JM, et al. Cerebral ischemia after carotid intervention. *J Endovasc Ther* 2004; 11: 251-257.
- 5) Poppert H, Wolf O, Resch M, et al. Differences in number, size and location of intracranial microembolic lesions after surgical versus endovascular treatment without protection device of carotid artery stenosis. *J Neurol* 2004; 251: 1198-1203.
- 6) Yamada N, Higashi M, Otsubo R, et al. Association between signal hyperintensity on T1-weighted MR imaging of carotid plaques and ipsilateral ischemic events. *AJNR* 2007; 28: 287-292.
- 7) Yoshida K, Endo H, Sadamasa N, et al. Evaluation of carotid artery atherosclerotic plaque distribution by using long-axis high-resolution black-blood magnetic resonance imaging. *J Neurosurgery* 2008; 109: 1042-1048.
- 8) Moody AR, Alder S, Lennox G, et al. Direct magnetic resonance

- imaging of carotid artery thrombus in acute stroke. *Lancet* 1999; 353: 122-123.
- 9) Murphy RE, Moody AR, Morgan PS, et al. Prevalence of complicated carotid atheroma as detected by magnetic resonance direct thrombus imaging in patients with suspected carotid artery stenosis and previous acute cerebral ischemia. *Circulation* 2003; 107: 3053-3058.
- 10) 澤田元史、田邊 淳、八十川雄図、ほか. EPA／ロスバスタチン併用による頸動脈不安定プラークの安定化. 脳卒中の外科 2013; 41: 39-45.
- 11) SPACE Collaborative Group, Ringleb PA, Allenberg J, et al. 30 day results from the space trial of stent-protected angioplasty versus carotid endarterectomy in symptomatic patients: a randomised non-inferiority trial. *Lancet* 2006; 368: 1239-1247.
- 12) Mas JL, Chatellier G, Beyssen B, et al. EVA-3S Investigators. Endarterectomy versus stenting in patients with symptomatic severe carotid stenosis. *N Engl J Med* 2006; 355: 1660-1671.
- 13) North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial. Methods, patient characteristics, and progress. *Stroke* 1991; 22: 711-720.
- 14) Yuan C, Zhang SX, Polissar NL, et al. Identification of fibrous cap rupture with magnetic resonance imaging is highly associated with recent transient ischemic attack or stroke. *Circulation* 2002; 105: 181-185.

- 15) Murphy RE, Moody AR, Morgan PS, et al. Prevalence of complicated carotid atheroma as detected by magnetic resonance direct thrombus imaging in patients with suspected carotid artery stenosis and previous acute cerebral ischemia. *Circulation* 2003; 107: 3053–3058.
- 16) Watanabe Y, Nagayama M, Suga T, et al. Characterization of atherosclerotic plaque of carotid arteries with histopathological correlation: vascular wall MR imaging vs. color Doppler ultrasonography (US). *J Magn Reson Imaging* 2008; 28: 478-485.
- 17) Serfaty JM, Chaabane L, Tabib A, et al. Atherosclerotic plaques: classification and characterization with T2-weighted high-spatial-resolution MR imaging -an in vitro study. *Radiology* 2001; 219: 403–410.
- 18) Chu B, Kampschulte A, Ferguson MS, et al. Hemorrhage in the atherosclerotic carotid plaque: a high-resolution MRI study. *Stroke* 2004; 35: 1079–1084.
- 19) Yuan C, Mitsumori LM, Beach KW, et al. Carotid atherosclerotic plaque: noninvasive MR characterization and identification of vulnerable lesions. *Radiology* 2001; 221: 285–299.
- 20) Hatsukami TS, Ross R, Polissar NL, et al. Visualization of fibrous cap thickness and rupture in human atherosclerotic carotid plaque in vivo with high-resolution magnetic resonance imaging. *Circulation* 2000; 102: 959-964.
- 21) Cremonesi A, Manetti R, Liso A, et al. Endovascular treatment of

- soft carotid plaques: a single-center carotid stent experience. *J Endovasc Ther* 2006; 13: 190-195.
- 22) Adam CA, Scuro A, Spinamano L, et al. Use of the Parodi anti-embolism system in carotid stenting: Italian trial results. *J Endovasc Ther* 2002; 9:147-154.
- 23) Muller-Hulsbeck S, Jahnke T, Liess C, et al: In vitro comparison of four cerebral protection filters for preventing human plaque embolization during carotid interventions. *J Endovasc Ther* 2002; 9: 793-802.
- 24) Ohki T, Roubin GS, Veith FJ, et al: Efficacy of a filter device in the prevention of embolic events during carotid angioplasty and stenting: An ex vivo analysis. *J Vasc Surg* 1999; 30: 1034-1044.
- 25) Rapp JH, Pan XM, Yu B, et al: Cerebral ischemia and infarction from atheroemboli <100 micron in Size. *Stroke* 2003; 34: 1976-1980.
- 26) Bijuklic K, Wandler A, Hazizi F, et al. The PROFI study (Prevention of Cerebral Embolization by Proximal Balloon Occlusion Compared to Filter Protection During Carotid Artery Stenting): a prospective randomized trial. *J Am Coll Cardiol* 2012; 59: 1383-1389.
- 27) Harada K, Morioka J, Higa T, et al. Significance of combining distal filter protection and a guiding catheter with temporary balloon occlusion for carotid artery stenting: clinical results and evaluation of debris capture. *Ann Vasc Surg* 2012; 26: 929-936

- 28) 徳永浩司、杉生憲志、西田あゆみ、ほか. 頸動脈狭窄症に対する Angioguard XP を用いた頸動脈ステント留置術の治療成績 - PercuSurge GuardWire による治療成績との比較 - *JNET* 2009; 3: 79-85.
- 29) Nissen SE, Nicholls SJ, Sipahi I, et al. Effect of very high intensity statin therapy on regression of coronary atherosclerosis: The ASTEROID Trial. *JAMA* 2006; 295: 1556-1565.
- 30) Underhill H, Yuan C, Zhao XQ, et al. Effect of rosuvastatin therapy on carotid plaque morphology and composition in moderately hypercholesterolemic patients: a high-resolution magnetic resonance imaging trial. *Am Heart J* 2008; 155: 584.e1-584.e8.

Figure legends

Fig. 1 Choice of CAS or CEA according to MR plaque image

CEA was selected in 39 cases with unstable plaque suspected by MR plaque image of $Sp/Sm \geq 2$, in contrast, CAS was indicated for 12 cases with $Sp/Sm < 2$ and for 129 cases with surgically high-risk condition regardless of plaque characteristics.

Fig. 2 Choice of EPD according to MR plaque image

Twelve cases with $Sp/Sm < 2$ were treated with CAS using Angioguard XP. One hundred twenty-nine CEA high-risk cases with unstable plaque were treated with CAS using EPD according to re-study of plaque image after oral uptake of EPA and rosuvastatin for 1 month. Each EPD was chosen by means of plaque characteristics such as Angioguard XP for $Sp/Sm < 2$, EZ or Spider for $2 \leq Sp/Sm < 3$, and balloon for $3 \leq Sp/Sm$.

Table 1 Perioperative complication and new lesions on DWI according to MR plaque image

<Complication>

	Sp/Sm < 2	$2 \leq \text{Sp/Sm} < 3$	$3 \leq \text{Sp/Sm}$	Total
CEA	0	0/9	0/30	0/39
CAS with Angioguard	0/12	0	0	0/12
CAS with EZ or Spider	0	3/79	0	3/79
CAS with Balloon	0	0	0/50	0/50

<New lesions on DWI>

	Sp/Sm < 2	$2 \leq \text{Sp/Sm} < 3$	$3 \leq \text{Sp/Sm}$	Total
CEA	0	0/9	0/30	0/39
CAS with Angioguard	0/12	0	0	0/12
CAS with EZ or Spider	0	27/79	0	27/79
CAS with Balloon	0	0	7/50	7/50

CEA: carotid endarterectomy, CAS: carotid artery stenting, Sp: signal intensity of carotid plaque, Sm: signal intensity of sternocleidomastoid muscle, DWI: diffusion-weighted image

Table 2 Characterization of carotid plaque components with MR categories

		Fat-suppressed T1-weighted image	
		Iso-Low intensity	High intensity
		$Sp/Sm < 2$	$Sp/Sm \geq 2$
Fat-suppressed T2-weighted Image	Iso-Low intensity $Sp/Sm < 2$	Fibrous tissue Calcification	Hemorrhage
	High intensity $Sp/S \geq 2$	Lipid core	Hemorrhage Lipid core

Sp: signal intensity of carotid plaque, Sm: signal intensity of sternocleidomastoid muscle

Reference:

Watanabe Y, Nagayama M. MR imaging of carotid atherosclerotic plaque. *J Jpn Coll Angiol* 2011; 51: 89-94.

Fig. 1 Sawada et al.

Sp : Signal intensity of carotid plaque

Sm : Signal intensity of muscle of sternocleidomastoid muscle

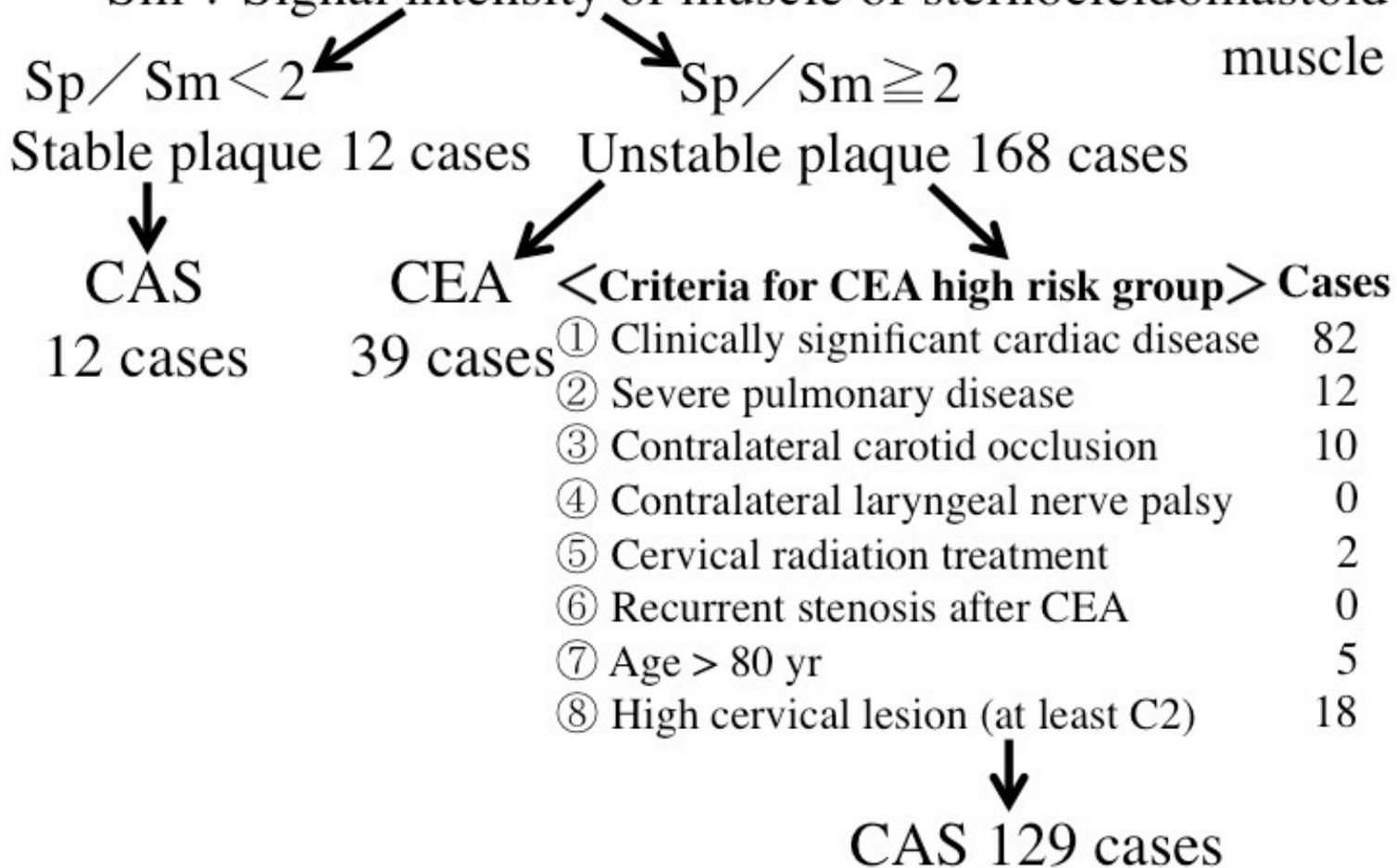


Fig. 2 Sawada et al.

Sp : Signal intensity of carotid plaque

Sm : Signal intensity of muscle of sternocleidomastoid muscle

