

- 1) 原著
- 2) タイトル：多量の不安定プラークを有する頸動脈狭窄病変に対する CEA と CAS を組み合わせたハイブリッド手術の有用性
- 3) 関原嘉信 齋藤雄三 高田能行 石井則宏
- 4) 新東京病院 脳神経外科
- 5) 連絡著者の氏名・連絡先
氏名：関原嘉信
所属：新東京病院
〒270-2232 千葉県松戸市和名ヶ谷 1271
電話：047-711-8700
- 6) Carotid artery stenosis, hybrid surgery, Carotid endarterectomy, Carotid artery stenting
- 7) 宣言「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します」

和文要旨

目的) 広範囲に多量の不安定プラークが存在するリスクの高い頸動脈狭窄症に対して、我々は頸動脈内膜剥離術 (Carotid endarterectomy: CEA) と頸動脈ステント留置術 (Carotid artery stenting: CAS) を組み合わせたハイブリッド手術を行っており、治療成績を報告する。

対象と方法) 2016年1月から2018年6月の間、216例の頸動脈狭窄症に対して外科的治療を行った。そのうち、CEAとCASのいずれの治療もリスクが高いと判断しハイブリッド手術室で治療した15例が対象。CEA後に術野確保が困難な部位の病変に対して動脈切開部からステント留置が可能な準備をして治療した。周術期の治療成績を後方視的に検討した。

結果) ハイブリッド手術室で治療した15例のうち、CEA後にステント留置を行った症例は10例で、全例総頸動脈近位側への逆行性ステント留置を行った症例であった。治療は全例完遂でき、周術期の脳梗塞、心筋梗塞、死亡例はなかった。追跡期間中に新規の神経学的イベントを生じた症例はなかったが、無症候性の再狭窄を1例に認めた。

結語) CEAとCASを組み合わせたハイブリッド手術は、広範囲に多量の不安定プラークを有する頸動脈狭窄症に対して有効な治療と考えられた。

諸言：

頸動脈狭窄症に対する頸動脈内膜剥離術 (Carotid endarterectomy: CEA) は有効性が確立された治療法であるが¹⁾²⁾、プラークがC2椎体より頭側まで続く高位病変や、C6椎体より大動脈側に続く低位病変の場合は、術野の確保が困難となるため頸動脈ステント留置術 (Carotid artery stenting: CAS) を選択することが多い³⁾。しかし、広範囲に多量のプラークが存在し、その大部分が出血や脂質成分で構成される不安定プラークであると予想される場合は、CASは遠位塞

栓のリスクが高く適さない⁴⁾。CEAとCASいずれの治療もリスクの高い症例に対し、当院ではハイブリッド手術室にて両者を組み合わせた手術を行っており、その治療成績を報告する。

対象と方法

2016年1月から2018年6月の間、216例の頸動脈狭窄症に対して外科的治療を行った。その内、いずれの治療もリスクが高いと判断しハイブリッド手術室で治療した15例が対象である。

無症候性はNASCET法で80%以上、症候性の症例については同計測法で50%以上を治療対象としているが、塞栓源であることが確かな不安定プラークを有する症例であれば、狭窄率が低くても症例によっては外科治療の対象としている。

1. 治療法の選択

頸部内頸動脈狭窄症で術前に頸動脈超音波検査とBlack Blood MRI (BB-MRI)を行い、プラークの性状、量と範囲を評価して手術法を決定している。当院の不安定プラークの定義は、プラークの大部分が頸動脈超音波検査にて低輝度であり、BB-MRIにてT1WI、T2WIともに胸鎖乳突筋より高信号である出血や脂質成分を多く有するものである。また、潰瘍形成や可動性を有するものも不安定プラークとして扱っている。前述の不安定プラークを有し、全身麻酔が可能な症例はCEAを選択しており、当院ではCEAを第一選択治療としている。大部分が線維成分主体のハードプラークの症例、全身状態不良で全身麻酔が困難な症例やCEA後の再発例に対してはCASを選択している。

CEAでは処理が難しい広範囲に多量の不安定プラークを有する症例、内外頸分岐部と総頸動脈近位または腕頭動脈など離れた部位に病変が存在するいわゆる Tandem lesion など、CEAもしくはCASの単独治療では安全な治療が難しいと判断した症例に対しては、Philips

社製の single plane の血管撮影装置を備えたハイブリッド手術室でステント追加が可能な準備をした CEA と CAS を組み合わせたハイブリッド手術を選択している。

2. ハイブリッド手術の手技

全身麻酔下に、近赤外光による脳酸素飽和度モニター、SEP・MEP モニターをしつつまず CEA を行う。胸鎖乳突筋の前縁に沿った前頸部の皮膚切開、頸部 3 分枝の露出と血管テープでの確保を行い、一時遮断をして動脈切開後に内外頸分岐部のプラークを剥離・摘出する。次いで、動脈切開部から逆行性に 8F Launcher (Medtronic, Minneapolis, MN, USA) もしくは 6 F シースを入れ、ステントを留置した (Fig.1)。

抗血小板剤は基本的にバイアスピリン 100 mg とクロピドグレル 75mg の Dual Antiplatelet Therapy (DAPT) としており、ヘパリンは CEA の動脈遮断前に 3000 から 5000 単位を静注し、ACT (Activated Clotting Time) を静注前の 2 倍程度に延長していることを確認している。術当日は ICU にて血圧管理、神経症状、創腫脹の有無の観察を行う。術後は主に定期的に頸動脈エコー、MRI を用いて画像 follow し、再狭窄が疑われる症例は CT angiography もしくは血管撮影を行っている。

3. 調査項目

頸動脈狭窄病変に対するハイブリッド手術施行例の周術期の治療成績を後方視的に検討した。患者背景、手技の内容と成功率、周術期の脳梗塞、心筋梗塞の発生率、死亡症例の有無、その他の合併症の有無、再狭窄例の頻度を検討した。

代表症例 (症例 2)

76 歳男性。無症候性ではあるが進行性の左頸動脈狭窄病変で、

内外頰分岐部から中枢側の総頸動脈に多量の不安定プラークが連続していた (Fig.2A)。全身麻酔下で、可及的に中枢側まで総頸動脈を露出して (Fig.2B) 左 CEA を施行したが、中枢側のプラークが取りきれず、断端から多量の不安定プラークが露出していた

(Fig.2C)。動脈切開部から逆行性に総頸動脈へステント留置を行った。総頸動脈側は血管テープを用いたタニケットでの遮断とし、プラーク断端を目視し真腔を確認しながら 0.035inch のガイドワイヤーを透視下で大動脈弓部へ進めた。Goretex CV-6 を用いて総頸動脈を中枢側から 4 c m 程度動脈縫合しておき、ガイディングカテーテル挿入時の大量出血を防ぐためにタニケットを 2 か所追加した。透視下で 8 F ランチャーを 0.035inch のガイドワイヤーをガイドとして逆行性に総頸動脈へ留置した (Fig.2D)。あらかじめ留置しておいた左上腕動脈の 4 F シースからシモンズ型カテーテルを用いて左総頸動脈撮影を施行 (Fig.2E)。不透過ラインの入りの脳保護シートをプラーク断端部のマーカーとして総頸動脈の背面に入れておき、ステント留置時の目印とした。総頸動脈撮影を参考にしてステントの位置を決め、ガイディングカテーテルも適切なところまで引いて位置調整した。ステントは Carotid Wallstent (Boston

Scientific,Natick,MA,USA) 10x31mm と 10 x 24mm を一部重複する形で中枢側から留置した (Fig.2F)。ステントの遠位端は、プラーク断端より遠位側にくるように留置して、プラーク断端をステントでカバーした。次いで Mustang (Boston Scientific, Natick, MA, USA) 9.0x40mm を用いてステントを拡張させた。狭窄部をバルーンで押し拡げるというよりは、ステントを血管壁に圧着させるイメージで行った。タニケットを緩めて、出血量をコントロールしながら、動脈切開部からステント内の debris を含む血液を充分排除した。約 20 から 30ml 程度の血液を数回に分けて排出して、術野に貯留した血液を注射器で吸い、ガーゼの上に排出して debris の有無を確認した。総頸動脈で鬱滞していた debris を含む血液を高圧で動脈切開部から噴出させることで、

確実に汚染血液を排除できているものと考えた。内頸動脈の動脈縫合を行い、通常のCEAの手順で外頸動脈、総頸動脈、内頸動脈の順でデクランプし（Fig.2H）、最終造影を行いステント内の状態を確認して終了した（Fig.2.G）。尚、術前にバイアスピリン 100 mg とクロピドグレル75mgの DAPT とし、ヘパリンはCEAの動脈遮断前に3000単位静注し、ACTを投与前の2倍以上にし、手術後は自然中和とした。術後、出血性合併症はなく、周術期の脳梗塞や心筋梗塞などを生じることもなく順調に経過している。術後約2年半経過した時点のCT angiography（Fig.2.I）では、有意な再狭窄はなく、神経学的イベントを生じることなく経過している。

結果：

調査期間中に治療した216例の内、CEA単独で治療した症例は164例（75.9%）、CAS単独が42例（19.4%）であった。単独治療ではリスクが高いと判断し、ハイブリッド手術室を使用して治療した症例は15例（6.9%）であった（Table1）。男性11例、女性4例、年齢は43歳から82歳、平均70.9歳、中央値73.3歳。症候性は7例で、TIA2例、脳梗塞が5例であった。8例は無症候性であった。内外頸動脈分岐部から総頸動脈近位側までプラークが連続する症例が最も多く9例、内外頸動脈分岐部と総頸動脈近位部のTandem lesionが2例、分岐部から内頸動脈遠位へプラークが連続する症例が4例であった。まず全身麻酔下でCEAを行い、引き続き10例（4.6%）にステント留置を行なった。全例総頸動脈近位側への逆行性ステント留置を行なった症例であった。CEAにて処理しきれなかった総頸動脈側のプラークに対して断端部を含めて逆行性にステントを留置したのが最も多く8例であった。TIAを繰り返す左総頸動脈起始部の完全閉塞の症例が1例あり（症例3）、内外頸動脈分岐部の動脈切開部から0.035inchのガイドワイヤーを用いて逆行性に左総頸動脈起始部の閉塞部を通過させてステント留置した。局所的な高度狭窄から閉塞

に至った症例であり、Mustang 6.0x40mm で前拡張した。狭窄長は数 mm 程度の局所的狭窄であり、前拡張でしっかり拡張した。リコイルを懸念して Carotid Wallstent 10x31mm を数 mm 程度弓部に突出する形で留置した。その遠位部も永らく血流が途絶えていたこともあり一部重複する形で同ステント 10x24mm を留置した。治療後に TIA も消失し、治療を要する再狭窄もない。

高安動脈炎の症例も 1 例含まれている（症例 10）。右総頸動脈閉塞、左総頸動脈起始部の高度狭窄があり、仮に左総頸動脈が閉塞すると、広範な脳梗塞を生じるものと予想されたため、左 CEA の後に左外頸動脈の起始部を切開して 6 F シースを入れて左総頸動脈近位側の石灰化を含む高度狭窄病変に対してステント留置を行なった。その後、左外頸動脈から右総頸動脈へ前頸部に人工血管を通してバイパスしている。今回の検討期間中、内頸動脈遠位側へのステント留置を検討した 4 例は、遠位までプラークが続いていたが全例プラークを取りきれなかったため、内頸動脈遠位側へのステント留置例はなかった。

ステント留置を行なった症例では、手技は全例で完遂でき、手技に伴う動脈解離などの合併症はなかった。術中、術後に輸血を要した症例もなかった。抗血小板剤は、術前より全例 DAPT で管理しているが、創出血を生じた症例はなかった。術後の無症候性を含めた全脳梗塞、心筋梗塞の発生例はなく、死亡例もなかった。平均追跡期間は 21.6 ヶ月（5～31 ヶ月、中央値 26 ヶ月）で、治療側の TIA や脳梗塞を生じた症例はなかった。再治療が必要な再狭窄は 1 例であった。高安動脈炎の症例（症例 10）で、治療 6 ヶ月後に左総頸動脈内のステント内狭窄が出現した。大腿動脈穿刺で、左総頸動脈内のステント内にステントを追加している。治療に伴う合併症はなかった。内シャントを要した症例が 1 例（症例 2）あり、コントロールの血管撮影用に留置した上腕動脈の 4 F シースから脱血し、延長チューブを介し、内シャントの内頸動脈側へ供血して血流を回復させ

た。内シャント使用に伴う合併症もなかった。

考察

脳神経外科領域におけるハイブリッド手術室を使用した外科治療の報告として⁵⁾、クリッピング困難な脳動脈瘤に対する頸部形成的クリッピング後に瘤内コイル塞栓術を行う方法⁶⁾⁷⁾や、脳動静脈奇形に対する血管内塞栓術と摘出術の組み合わせ⁸⁾などがあり、双方の治療法の併用による治療適応の拡大や根治性の向上が期待されている。

頸動脈狭窄症に対するハイブリッド手術室を利用した直達手術と血管内治療を組み合わせた治療も多く報告されており⁹⁾⁻¹⁷⁾、報告によりいくつかバリエーションがある。まず、CASを行う際のアクセス困難例に対して、総頸動脈を直接穿刺する方法がある⁹⁾。基本的に通常のCASと同様のリスクと予想されるが、ステントの近位端と穿刺部が近いと、ステントの近位側の展開に苦勞することが予想される。

一方、今回の我々の一連の症例と同様に、総頸動脈近位側や腕頭動脈の狭窄病変に対する逆行性ステント留置 (Ipsilateral proximal endovascular intervention ; IPE) の報告は散見される¹⁰⁾⁻¹⁷⁾。内外頸分岐部から総頸動脈側へプラークが連続する症例、内外頸分岐部と総頸動脈近位側もしくは腕頭動脈に離れて狭窄が存在する tandem lesion の症例に対して適用される報告が多い。

内外頸動脈分岐部の病変を有さない病変であれば、外頸動脈や総頸動脈を逆行性に穿刺して行い、分岐部の病変を含む場合はCEAを先行して行なった後に動脈切開部からステントを留置する報告が多い¹¹⁾⁻¹⁶⁾。この方法の利点は、塞栓性合併症のリスクの高い不安定プラークや高度石灰化病変はCEAにて確実に除去でき、同時にCEAでは到達困難な部位に存在するアテローム病変を同時に治療できるこ

とである。頸動脈3分枝を露出していることで、クリップで確実に血流を遮断できるため、ステント留置時に動脈内腔に逸脱した debris を動脈切開部から排出することで、ステント留置時の遠位塞栓症のリスクは極めて低い。まさにCEAとCASの双方の良い点を組み合わせた方法と言える。Debrisを含んだ遮断部の血液排出時の失血が問題になるが、ステントの遠位部にあたる総頸動脈の遮断をタニケットで行い、出血量をコントロールしながら出血させる我々の方法を用いると、瞬間的に多量の汚染血を排出でき、かつ出血量も20から30ml程度に抑えることができるため有用である。一時的にCEAの術野に血液が多量に貯留するが注射器で吸引後にガーゼでdebrisの有無を確認して、追加の排除が必要か検討することも可能である。今回のシリーズでは、輸血が必要になるような貧血を生じる症例はなかった。

血管内治療単独で、総頸動脈近位側や腕頭動脈の狭窄病変の治療を考えた場合、遠位塞栓予防が難しいことが問題である。PercuSurge GuardWire (Medtronic, Minneapolis, MN, USA) など同軸で遮断できるバルーンでは小径のため総頸動脈の確実な遮断は難しい。内頸動脈の遮断でも良いかもしれないが、総頸動脈近位からの距離が遠く、プラークが多量で血管内への流出 debris も多い場合は、吸引カテーテルでの回収も確実性が低くなると思われる。また、バルーン付きガイディングカテーテルでの近位遮断は狭窄病変までの距離が近いためにステント留置が難しくなる。よって近位遮断による flow reversal の状況を作ることも難しく、遠位塞栓を確実に予防するのは難しいと言える。そのため、前頸部切開し総頸動脈を確保した上で、大腿動脈経由の通常ステント留置術を行うとする報告もある¹⁰⁾。総頸動脈の狭窄より遠位部をブルドック鉗子で遮断した後に、順行性にステント留置を行い、総頸動脈に小切開を行って debris を排除するという方法である。確かに動脈切開部からカテーテル類を逆行性に操作する手技の煩雑さを鑑みると、内外頸分岐部に病変がない

症例には良い方法と言える。順行性、逆行性のいかに関わらず、狭窄の遠位部をクリップにて確実に血行遮断することで、遠位塞栓症を予防できる点がハイブリッド頸動脈手術の最大の利点と考えている。今回の我々の症例でも、無症候性の拡散強調画像の高信号病変も含めて周術期の脳梗塞はなかった。

内外頸分岐部と総頸動脈近位部もしくは腕頭動脈の Tandem lesion に対する CEA と逆行性ステント留置 (IPE) を組み合わせた治療についての報告は多数あり、少数例の周術期に限定した治療成績を論じたものでは、合併症は少なく安全な方法であるとするものが多い¹¹⁾⁻¹³⁾。Bozzay らは、6 例の CEA + IPE を行い、周術期の脳梗塞、死亡例はなく、1 ~ 36 ヶ月 (平均 12.8 ヶ月、中央値 7.8 ヶ月) の follow up で再狭窄、脳梗塞、心筋梗塞、死亡例はなかったと報告している⁽¹¹⁾。一方で Meershoek らは、16 例の症候性の Tandem lesion に対する CEA + IPE を行い、周術期の治療成績は良好であるものの、長期成績 (中央値 73 ヶ月、22-85 ヶ月) を検討すると、1 例に症候性の再狭窄、2 例に再狭窄を伴わない同側の脳梗塞を認め、3 例の死亡例もあり、症候性の Tandem lesion の自然歴がどの程度不良な転機となるかは不明だが、必ずしも良い経過を辿るわけではないと報告している¹⁴⁾。

また、CEA + IPE の比較的多数例の検討では、周術期の脳梗塞や死亡例の報告もあり、本治療の適応については慎重に検討すべきであるとするものもある¹⁵⁾¹⁶⁾。Clouse WD らは、多施設での 62 例の近位総頸動脈や腕頭動脈の狭窄病変に対する CEA + IPE の治療成績を検討し、4 例 (6.5%) に周術期の同側脳梗塞、2 例の過灌流症候群を生じ、3 例 (4.8%) の周術期死亡例 (1 例は脳梗塞、2 例は心筋梗塞) があつたと報告している。脳梗塞と死亡例を合わせると adverse event の発生率は 11.3% に及ぶ。また、平均 follow up 期間 6 ± 4 年で、20 例 (34%) に 50% 以上の再狭窄を認め、8 例 (14%) に再手術を行なっている (内外頸分岐部 3 例、総頸動脈近位側 5 例)。症候性の症例に対し、慎重に適応を判断して施行するべきと述べている。

今回の少数例の検討では、周術期の合併症はなかった。CEAとCASの担当者を分けて、各々の治療経験数が多い同一術者が手術を行なったことが良好な成績となった一因と考えている。同一メンバーで治療することにより、治療ごとに手技が洗練され、治療時間も短縮している(Table1)。技術的には、総頸動脈の遮断にタニケットを使用し、出血量をコントロールしつつ確実に debris を動脈切開部から排除したことが、塞栓症の発生率を減らし、良好な成績につながったものと推察された。

ハイブリッド手術を行う上で、治療手順を術前に多職種間で十分に検討しておく必要がある。術前の抗血小板剤の投与をどうするか、術中のヘパリンの投与のタイミングと量、麻酔器、手術機器と血管内治療用のテーブル、モニタリング機器のセッティング、手術の手順を事前に周知しておく必要がある。留置するステントについては、頸動脈分岐部のCEAの断端を含まない、総頸動脈近位部や腕頭動脈の狭窄病変に対して、腸骨動脈用のバルーン拡張型ステントである Assurant cobalt (Medtronic, Minneapolis, MN, USA) を使用した (Table2)。位置合わせが容易で、後拡張のバルーンも基本的に不要なため選択した。ただし、頸動脈への使用は保険適応外であり、術前に倫理面への十分な配慮が必要である。

内頸動脈から総頸動脈へプラークが連続する病変で、CEAの切除断端へのステント留置が必要な症例に対してはCAS用のステントである Carotid Wallstent (Boston Scientific, Natick, MA, USA) や PRECISE (Cordis, Johnson & Johnson, Fremont, CA, USA) を使用した (Table2)。前述の Assurant cobalt はバルーンを用いて展開している際に、プラークの存在しない動脈縫合部に過剰な圧負荷がかかる可能性があるため、自己拡張型のCAS用のステントを選択した。

また、腕頭動脈の狭窄病変に対する手術法として、1990年代の報告ではあるが開胸による血行再建術のまとまった報告がある。脳神

経外科には不慣れなアプローチではあるが、周術期および長期成績ともに良好であり、合併症率は低く安全な治療であると報告されている¹⁷⁾。心臓血管外科の協力が得られれば、有用であろうが、内頸動脈分岐部の狭窄病変と同時の治療は侵襲が高く、血管内治療の手技が普及した現在では勧めにくい治療法であろう。

CEAと動脈切開部からのステント留置は、総頸動脈や内頸動脈のCTO症例にも応用可能¹⁸⁾¹⁹⁾であり、当科でも症候性の左総頸動脈のCTO症例に逆行性にステント留置を行い、うまく治療できた症例を経験している。

本治療法は、CEAの際にトラブルを生じた場合にも応用できる。内頸、総頸動脈に解離を生じた場合や、flap形成を生じた場合に切開口からステントを留置することで、rescue目的の治療として使用できる。治療難易度が高いと予想される内頸動脈狭窄症に対するCEAをハイブリッド手術室で行うことは、術中の様々なトラブルに対応可能となり、安全性を高めることが可能かもしれない。

今回の我々の治療法は、手技が煩雑であること、DAPTで広範囲の前頸部の術野展開が必要であり、出血性合併症への注意が必要であること、保険適応外のステントやバルーンが必要な場合があることなど問題点は多い。また、本研究の限界として、症例数が少なく、長期予後が不明であることが挙げられる。適応について慎重に検討すべきであると考えられた。

結語

多量の広範囲にプラークが存在する頸動脈狭窄病変に対するハイブリッド手術は、治療のセッティングや手順がやや煩雑であること、周術期の抗血小板療法に伴う出血性合併症への配慮が必要であることなどの問題点はあり、今後の治療経験の蓄積が必要ではあるが、CEAもしくはCAS単独では治療困難な頸動脈狭窄病変に対する治療

選択肢として、有用であると考えられた。

利益相反開示

筆頭著者および共著者全員が利益相反はない。

References

- 1) NASCET collaborators; Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis. N Engl J Med 1991;325:445-453
- 2) NASCET collaborators; Benefit of carotid endarterectomy in patients with symptomatic moderate or severe stenosis. N Engl J Med 1998;339:1415-1425
- 3) Sundt TM, Whinsnant JP, Houser OW, et al: Prospective study of the effectiveness and durability of carotid endarterectomy. Mayo Clinic Proceedings 1990;65: 625-635
- 4) CREST Investigators; Stenting versus endarterectomy for treatment of carotid artery stenosis. N Engl J Med 2010;363 :11-23
- 5) Murayama Y, Arakawa H, Ishibashi T et al. Combined Surgical and Endovascular Treatment of complex cerebrovascular diseases in the hybrid operating room. J of Neurointerventional surgery 2013;5:489-493
- 6) Xin C, Li Z, Zhang J et al. Combined Surgical and Endovascular Treatment of Complex Posterior Communicating Artery Aneurysm at One-Stage in Hybrid Operating Room. World Neurosurg 2018;116:383-386
- 7) Choudhri O, Mukerji N, Steinberg GK et al.: Combined endovascular and microsurgical management of complex cerebral aneurysm. Front Neurol 2013;8:4:108

- 8) Grüter BE, Mendelowitsch I, Diepers M et al. Combined Endovascular and Microsurgical Treatment of Arteriovenous Malformations in the Hybrid Operating Room. *World Neurosurg* 2018;117:e204-214
- 9) Bergeron P. Direct percutaneous carotid access for carotid angioplasty and stenting. *J Endovasc Ther* 2015;22:135–138.
- 10) Radak D, Tanaskovic S, Sagic D et al. A Novel Antegrade Approach for Simultaneous Carotid Endarterectomy and Angioplasty of Proximal Lesions in Patients with Tandem Stenosis of Supraaortic Arch Vessels. *Ann Vasc Surg* 2017 Oct;44:368–374.
- 11) Bozzay J, Broce M, Mousa AY et al. Hybrid Treatment of Extracranial Carotid Artery Disease. *Vasc Endovascular Surg* 2017;51:373–376.
- 12) Illuminati G, Pizzardi G, Pasqua R et al. Hybrid Treatment of Tandem Common carotid/innominate artery and ipsilateral carotid bifurcation stenosis by simultaneous, retrograde proximal stenting and eversion carotid endarterectomy: Preliminary results of a case series. *Int J Surg*. 2018;52:329–333.
- 13) Liyong Zhang, Tao Xing, Fenyang Geng et al. Preliminary application of hybrid operation in the treatment of carotid artery stenosis in patients with complex ischemic cerebrovascular disease. *Int J Clin Exp Pathol* 2014;7(8):5355–5362.
- 14) Meershoek AJA, Velde HM, Toorop RJ et al. Long-term outcome of symptomatic patients undergoing hybrid revascularization for extracranial carotid artery tandem stenosis. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2019 ;57:627–631.
- 15) Clouse WD, Ergul EA, Cambria RP et al. Retrograde stenting of proximal lesions with carotid endarterectomy increases risk. *J Vasc Surg* 2016;63:1517–1523.

- 16) Clouse WD, Ergul EA, Wanken ZJ et al. Risk and outcome profile of carotid endarterectomy with proximal intervention is concerning in multi-institutional assessment. *J Vasc Surg* 2018;68:760–769.
- 17) Berguer R, Morasch MD, Kline RA. Transthoracic repair of innominate or common carotid disease: immediate and long term outcome for 100 consecutive surgical reconstructions. *J Vasc Surg* 1998;27:34–42.
- 18) Jing WJ, Liu AF, Yu W et al. Outcomes of Multimodality in situ Recanalization in Hybrid Operating Room (MIRHOR) for symptomatic chronic internal carotid artery occlusions. *J Neurointerv Surg* 2019;11:825–832.
- 19) Shih YT, Chen WH, Lee WL et al. Hybrid surgery for symptomatic chronic total occlusion of carotid artery: a technical note. *Neurosurgery* 2013;73(1 Suppl Operative):onsE117–23;discussion onsE23.

Table 1. Baseline characteristics and details of procedures that treated in hybrid operating room.

CCA; Common carotid artery

ICA; Internal carotid artery

Bif.; Bifurcation of carotid artery

CTO; Chronic total occlusion

Post RT; Post radiation therapy

AS; Arteriosclerosis

TA; Takayasu arteritis

CEA; Carotid endarterectomy

ECST; European Carotid Surgery Trial

Table 2. The list of devices that were used in the hybrid surgery

Pre ; Pre dilatation

Post ; Post dilatation

Figure 1. An illustrations of hybrid surgery combining CEA with CAS in our institute.

- A. Extensive continuous plaque from ICA to CCA.
- B. After removing plaque as much as possible, a brain protection surgical sheet with X-ray impermeable makers was laid on the back of CCA to mark the plaque stump.
- C. After suturing arterial wall to some extent, three tourniquets were deployed. The guiding catheter inserted toward aortic arch in retrograde fashion in the proximal CCA.
- D. Stent placed in the proximal CCA.
- E. After removing the guiding catheter, debris and thrombus were flushed through the carotid bulb.
- F. Complete the arterial suture and finish the procedure.

Figure 2. Case presentation (Case2)

- A. MRA findings: A large amount of plaque continuing from ICA to CCA. Carotid duplex image minor axis view showing large volume low brightness plaque.
- B. Intraoperative picture. We extended the operative field as long as possible.
- C. A large amount of vulnerable plaque remains on the plaque stump.
- D. After suturing arterial wall, three tourniquets were deployed. A guiding catheter was inserted toward aortic arch in retrograde fashion in the proximal

CCA.

- E. The preoperative angiography through 4F Simmons catheter. Black arrow ;
Brain protection surgery sheet with X-ray impermeable markers was laid on
the back of CCA to mark the plaque stump.
- F. Carotid Wallstent was deployed(10x31mm and 10x24mm). White arrow ;
Same meaning as black arrow.
- G. The postoperative angiography. Carotid Wallstent was deployed.
- H. Complete the arterial suture and finish the procedure.
- I. Postoperative CT angiography ,3.5years later. There was no restenosis.

No	Age	Sex	Sympton	Etiology	Location of lesion	Degree of stenosis (ECST)	Length of lesion(mm)	Procedures	Time of Operation(min)	Complication
1	78	M	TIA	Post RT	Lt. ICA-CCA long lesion	81%	110	CEA + stent	315	-
2	76	M	-	AS	Lt. ICA-CCA long lesion	70%	135	CEA + stent	325	-
3	79	M	TIA	AS	Lt. CCA CTO	-	-	CEA + stent	320	-
4	61	M	-	AS	Lt. ICA-CCA long lesion	70%	128	CEA + stent	252	-
5	62	F	Infarction	AS	Lt. ICA-CCA long lesion	71%	116	CEA + stent	210	-
6	62	M	Infarction	AS	Rt. ICA-CCA long lesion	71%	118	CEA + stent	210	-
7	72	M	Infarction	AS	Lt. ICA distal	88%	89	CEA only	217	-
8	66	M	-	AS	Lt. ICA distal	74%	92	CEA only	185	-
9	79	M	-	AS	Lt. ICA-CCA long lesion	84%	142	CEA+stent	222	-
10	43	F	-	TA	Tandem lesion Lt. Bif. & CCA	Bif. 45% CCA 82%	Bif. 29 CCA 42	stent+bypass	264	-
11	72	F	-	AS	Rt. ICA-CCA long lesion	87%	107	CEA only	206	-
12	81	F	Infarction	AS	Lt. ICA-CCA long lesion	65%	130	CEA + stent	180	-
13	82	M	Infarction	AS	Tandem lesion Lt. ICA-Bif. & CCA	ICA-Bif. 73% CCA 65%	ICA-Bif. 23 CCA 34	CEA + stent	209	-
14	69	M	-	AS	Lt. ICA distal	78%	78	CEA only	212	-
15	73	F	-	AS	Rt. ICA-CCA long lesion	78%	98	CEA only	183	-

Table 1. Baseline characteristics and details of procedures that treated in hybrid operating room.

CCA; Common carotid artery

ICA; Internal carotid artery

Bif.; Bifurcation of carotid artery

CTO; Chronic total occlusion

Post RT; Post radiation therapy

AS; Arteriosclerosis

TA; Takayasu arteritis

CEA; Carotid endarterectomy

ECST; European Carotid Surgery Trial

No	Guiding	Stent	Balloon
1	8F Launcher	Carotid Wallstent x1 10x31mm	Pre : none Post : Mustang 9.0x40mm
2	8F Launcher	Carotid Wallstent x2 10x31mm 10x24mm	Pre : none Post : Mustang 9.0x40mm
3	8F Launcher	Carotid Wallstent x2 10x31mm 10x24mm	Pre : Mustang 6.0x40mm Post : Mustang 9.0x40mm
4	8F Launcher	Carotid Wallstent x2 10x31mm 10x31mm	Pre : none Post : Mustang 8.0x40mm
5	6F Sheathless NV	Carotid Wallstent x1	Pre : none Post : Mustang 7.0x40mm
6	8F Launcher	Precise x1 10x40mm	Pre : none Post : Mustang 8.0x40mm
9	6F Sheathless NV	Precise x1 10x40mm	Pre : none Post : Mustang 10x40mm
10	6F Sheath10cm	Assurant cobalt x1 10x40mm	Pre : Rx Genity 4.0x30mm Post : none
12	6F Sheath 10cm	Precise x1 10x40mm	Pre : none Post : Mustang9.0x40mm
13	6F Sheath 10cm	Assurant cobalt x1 10x40mm	Pre : none Post : none

Table 2. The list of devices that were used in the hybrid surgery

Pre ; Pre dilatation

Post ; Post dilatation

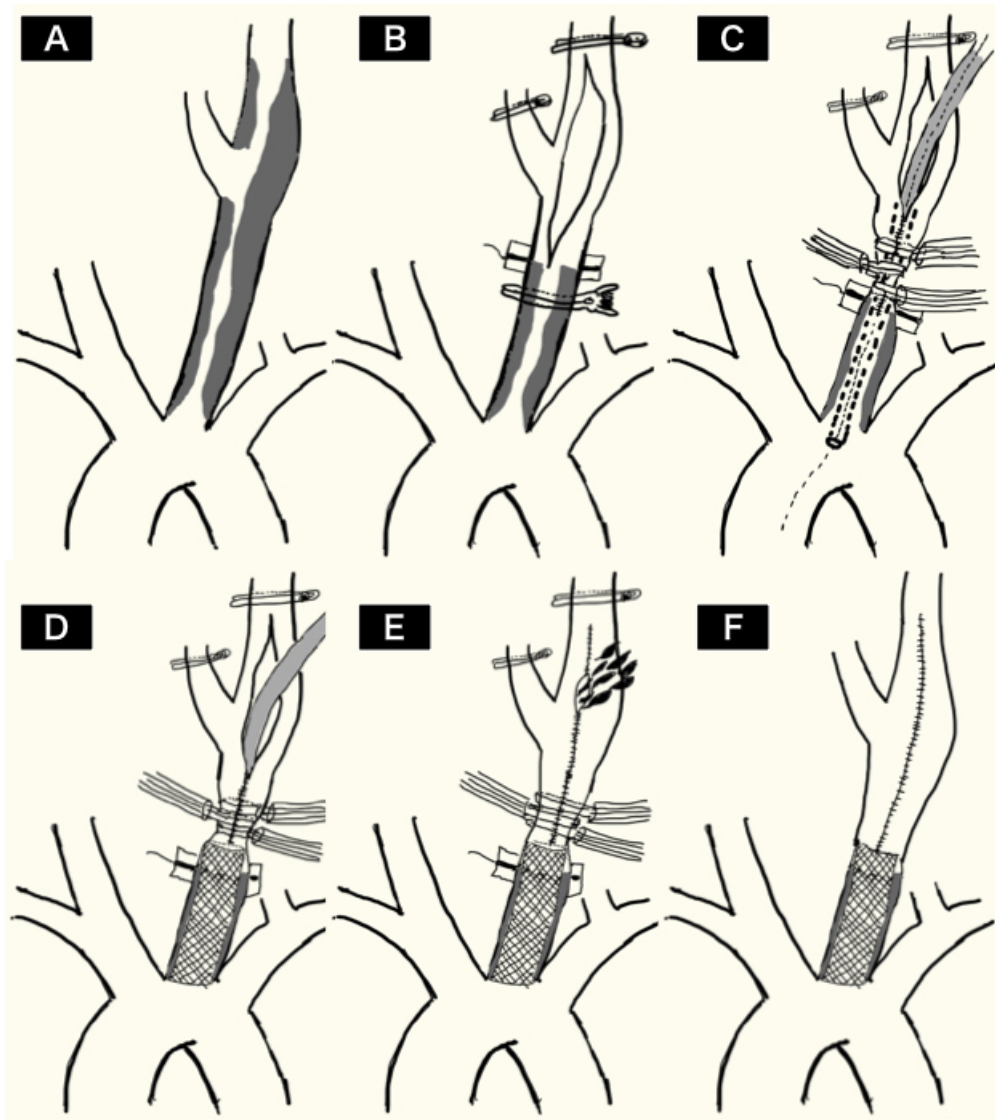


Fig.1

220x246mm (72 x 72 DPI)

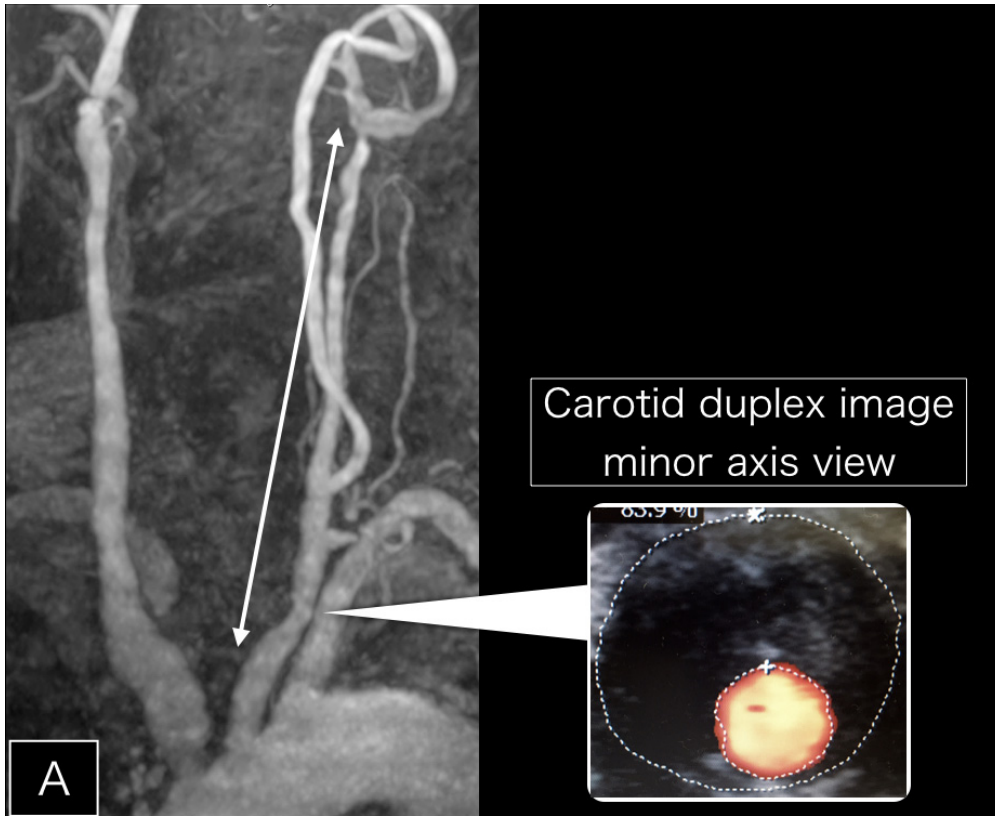


Fig2

325x264mm (72 x 72 DPI)

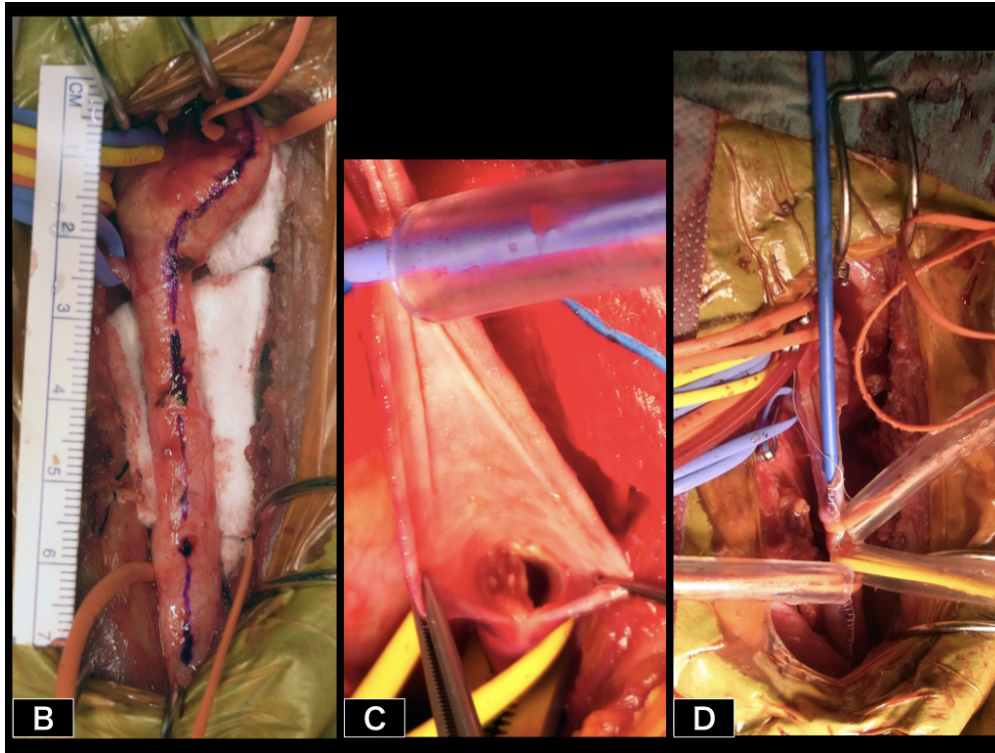


Fig2

361x270mm (72 x 72 DPI)

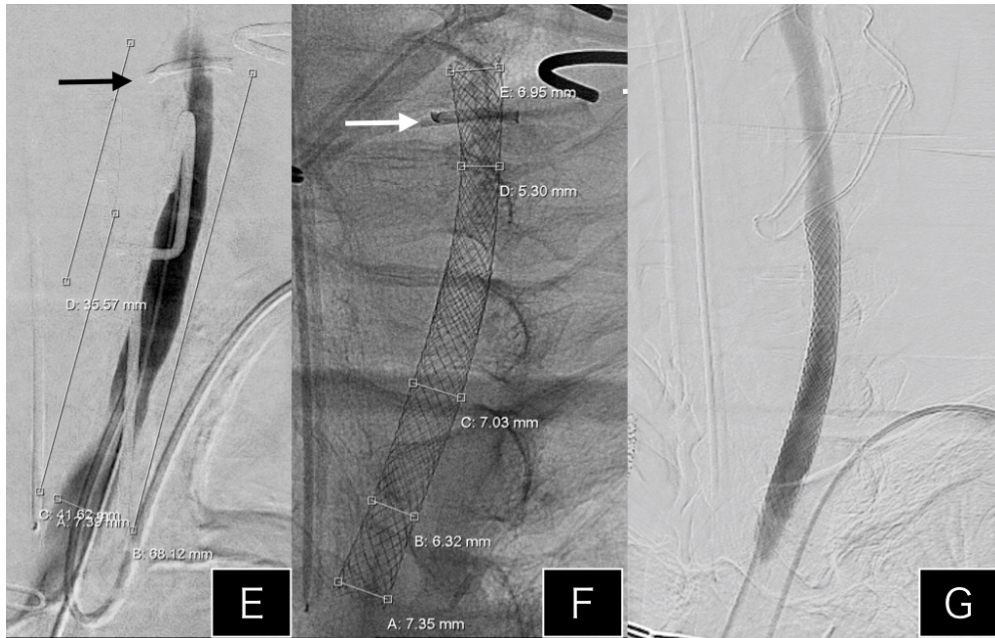


Fig2

361x228mm (72 x 72 DPI)



Fig2

295x263mm (72 x 72 DPI)