

脳脊髄血管障害に対するハイブリッド手術室を活用した複合治療

有村, 公一
九州大学大学院医学研究院脳神経外科

西村, 中
九州大学大学院医学研究院脳神経外科

下川, 能史
九州大学大学院医学研究院脳神経外科

溝口, 昌弘
九州大学大学院医学研究院脳神経外科

他

<https://doi.org/10.15017/2545089>

出版情報：福岡醫學雑誌. 110 (3), pp.162-169, 2019-06-25. 福岡医学会
バージョン：
権利関係：

原 著

脳脊髄血管障害に対するハイブリッド手術室を活用した複合治療

九州大学大学院医学研究院脳神経外科

有村 公一, 西村 中, 下川 能史, 溝口 昌弘, 秦 暢宏, 空閑 太亮,
迎 伸孝, 波多江 龍亮, 三月田 祐平, 飯原 弘二

Combination Therapy with Hybrid OR for Cerebrovascular Disease

Koichi ARIMURA, Ataru NISHIMURA, Takafumi SHIMOGAWA, Masahiro MIZOGUCHI, Nobuhiro HATA,
Daisuke KUGA, Nobutaka MUKAE, Ryusuke HATAE, Yuhei SANGATSUDA, and Koji IHARA
Department of Neurosurgery, Graduate School of Medical Sciences, Kyushu University

Abstract

Objective : With advent of an endovascular suite in the operating room (hybrid OR), it has been reported recently that combination therapy with surgical and endovascular procedures in hybrid OR for complex cerebrovascular diseases is feasible.

Materials and methods : We analyzed the 15 consecutive cases who underwent combination therapy with hybrid OR in our hospital from October 2014 to September 2017 (8 Aneurysms, 3 carotid artery stenosis, and 4 dural arteriovenous fistulas (DAVF)).

Results : All procedures were performed successfully. We performed bypass surgery and endovascular trapping with endovascular procedure for all aneurysm cases. In 3 cases of carotid artery stenosis, we performed carotid artery stenting (CAS) with direct puncture of common carotid artery for 2 cases and rescue stenting with carotid endarterectomy for 1 case. Perioperative antiplatelet therapy was performed in all cases of unruptured aneurysms and carotid artery stenosis. In the cases of DAVF, we performed transarterial or transvenous embolization combined with craniotomy, or shunt ligation with selective indocyanine green videoangiography using microcatheter. Systemic full heparinization was performed during all endovascular procedures. There was no symptomatic hemorrhagic and ischemic complication. There was no neurological deterioration of modified Rankin scale at discharge except for the case of symptomatic hyperperfusion after CAS.

Conclusion : Combination therapy with hybrid OR for complex cerebrovascular disease is safe and feasible.

Key words : hybrid, cerebrovascular disease, combination therapy

はじめに

脳脊髄血管障害の治療はクリッピング術などの直達手術と、コイル塞栓術などの血管内治療があるが、大型・巨大動脈瘤や複雑な血管奇形などの

脳脊髄血管障害ではこれら単独では治療困難な場合も少なくない。ハイブリッド手術室は手術室内に血管内治療を施行できる血管撮影装置を備え直達手術と血管内治療がどちらも可能な手術室であるが、このハイブリッド手術室において直達手術

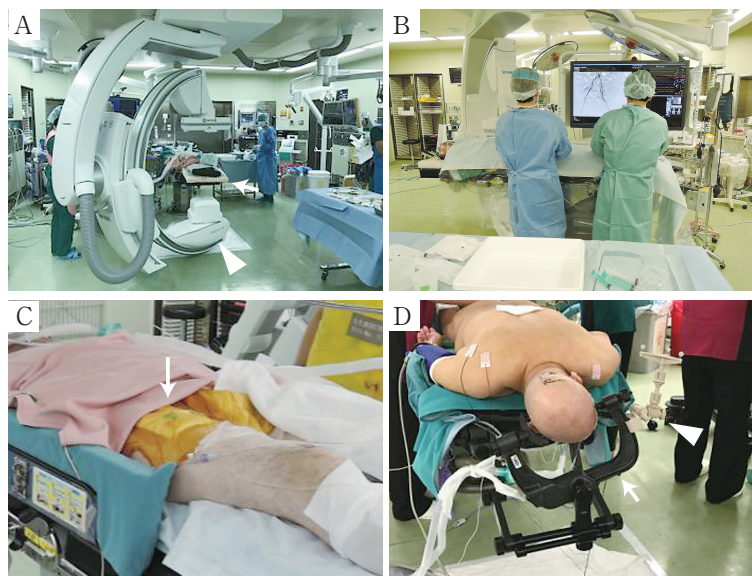


図 1

A) ハイブリッド手術室の全景

白矢頭：血管撮影装置 (Artis Q Ceiling, 天井懸垂式シングルプレーン) (Siemens Healthcare)

白矢印：手術台 (MAQUET MAGNUS surgical table) (MAQUET)

B) X線透視下に穿刺部位を決定しシースを挿入

C) シース挿入後

白矢印：大腿動脈留置後イソジンドレープで被覆された6Fr ロングシース

D) 頭部固定およびナビゲーションのセッティング

白矢印：radiolucent carbon head frame (ミズホ)

白矢頭：Navigation system の X線透過性アンテナ (BrainLAB)

手技と血管内治療手技を組み合わせた複合治療を行うことで、いずれかの単独治療では治療困難な脳脊髄血管障害を一期的に根治することが可能となってきた¹⁾²⁾。しかしハイブリッド手術室での複合治療は実際の手順やセッティングが煩雑であり、合併症を防ぐためにいくつかの tips が存在する。そこで本論文では当院のハイブリッド手術室を活用して複合治療を施行した脳脊髄血管障害の症例について検討し、当院での合併症を防ぐための治療戦略について紹介したい。

対象・方法

対象

2014年10月より2017年9月までに当院でハイブリッド手術室を活用して治療を行った15例(動脈瘤8例, 頸動脈狭窄症3例, 硬膜動静脈瘻4例)を対象とし、それぞれの症例について、術後30日以内の虚血性合併症および出血性合併症の有無を検討した。

設備

ハイブリッド手術室において、血管撮影装置はSiemens Healthcare社製の天井懸垂式シングルプレーンのArtis Q Ceilingを、手術台はX線透過性のMAQUET社製MAGNUS surgical tableを使用した(図1A)。また顕微鏡はCarl Zeiss社製のPENTEROを用いて、Indocyanine green (ICG) videoangiography撮影時はIR800モードを用いた。

術前処置

血管内治療中の血栓塞栓性合併症回避のため、動脈瘤に対してはアスピリン100mg/dayを、頸動脈狭窄症に対してはアスピリン100mg/day + クロピドグレル75mg/dayをそれぞれ4日以上前より投与し、手術当日および術後も継続投与した。

手術手順

全身麻酔導入後に大腿動脈にシースを挿入し頭部固定・体位取りを行っている。仰臥位の場合は右総大腿動脈より通常の25cmロングシースを、

表1 症例のまとめ

Case No.	Diagnosis	Age	sex	preoperative mRS	antiplatelets	procedure	hemorrhagic complication	ischemic complication	mRS at discharge
1	Unruptured AN	31	F	1	ASA	Trapping + bypass	-	-	1
2	Unruptured AN	63	F	2	ASA	Trapping + bypass	-	-	2
3	Unruptured AN	57	F	0	ASA	Trapping + bypass	-	-	0
4	Unruptured AN	50	F	0	ASA	Trapping + bypass	-	-	0
5	Unruptured AN	42	M	0	ASA	Trapping + bypass	-	-	0
6	Unruptured AN	49	M	0	ASA	Trapping + bypass	-	-	0
7	Ruptured AN (SAH)	60	M	0	-	Trapping + bypass	-	-	4
8	Ruptured AN (Epistaxis)	58	F	2	-	Trapping + bypass	-	-	2
9	ICS	70	M	0	ASA + CLP + CIL	CAS direct puncture	-	-	0
10	ICS	70	M	1	ASA + CLP	CAS direct puncture	(asymptomatic ICH)	-	4
11	ICS	76	M	0	ASA + CIL	CAS direct puncture	-	-	0
12	intracranial DAVF	64	M	5	-	Transarterial embolization	-	-	2
13	intracranial DAVF	73	F	2	-	Direct transvenous embolization	-	-	2
14	spinal DAVF	70	M	4	-	Superselective ICG + ligation	-	-	4
15	spinal DAVF	71	M	0	-	Superselective ICG + ligation	-	-	0

mRS: modified Rankin Scale, AN: aneurysm, ICS: internal carotid artery stenosis, DAVF: dural arteriovenous fistula, ASA: aspirin, CLP: clopidogrel, CIL: cilostazol, CAS: carotid artery stenting, ICG: indocyanine green angiography, ICH: intracerebral hemorrhage

腹臥位の場合は左総大腿動脈より kink-resistance の 45cm ロングシースを X 線透視下に挿入し (図 1B), 必要があればそのまま術前の血管撮影を施行する。シースはイソジンドレープで保護し, 治療時にカテーテル挿入部分のみドレープに切り込みをいれ, 再度消毒して使用している (図 1C)。側臥位では X 線アームと頭部固定器が干渉する場合が多いため, 当院では必ず仰臥位か腹臥位で治療を行っている。頭部固定はミズホ社の radiolucent carbon head frame を使用し, Navigation system も BrainLAB 社の X 線透過性のアンテナを使用している (図 1D)。

まず開頭・開創した後にバイパスなどの直達手術を行い, 続いて血管内治療を施行する。血管内治療時には ACT (activated clotting time) を前値の 2 倍または 250~300 秒に延長させるよう全身ヘパリン化し, 血管内治療の終了後ヘパリンをプロタミンにて half reverse してから閉創する。

選択的 Indocyanine green (ICG) 動注

バイパスの recipient 決定やシャント疾患の血管構築確認のため, 必要に応じてマイクロカテーテルからの選択的 ICG 動注を行った。全身ヘパリン化を行ってから SL-10 (Stryker, Kalamazoo, MI, USA) をマイクロガイドワイヤーを用いて対象血管に誘導し, 0.05mg~0.1mg/ml に希釈した ICG を manual injection で注入して顕微鏡の IR800 モードで撮影した。

結 果

対象 15 例 (動脈瘤 8 例, 頸動脈狭窄症 3 例, 動静脈瘻 4 例) のうち, 動脈瘤については全例バイパスと, カテーテルおよび塞栓用コイルを用いて母血管ごと閉塞する endovascular trapping を併用し, 1 例でバイパスの recipient 決定のためマイクロカテーテルより選択的 ICG 造影を行った。頸動脈狭窄症は 2 例が総頸動脈直接穿刺による CAS で, 1 例が CEA 後に CAS を追加した症例であった。硬膜動静脈瘻のうち 1 例は海綿静脈洞部硬膜動静脈瘻に対しシルビウス静脈直接穿刺による経静脈的塞栓術を施行した症例, 1 例は直達手術待機下で経動脈的塞栓術を施行した症例, 2 例は選択的 ICG 造影を行ってシャント部位を同定し直達による遮断術を施行した症例であった (表 1)。未破裂脳動脈瘤や頸動脈狭窄症では術前より抗血小板薬を投与し, また全症例で術中全身ヘパリン化を行ったが, 術後症候性の出血性・虚血性合併症は認められなかった。CAS 後過灌流症候群をきたした 1 例で廃用症候群による退院時 mRS の増悪を認めたが, それ以外の症例では退院時 mRS が術前より増悪したものはなく予後良好であった。

【代表症例 1 (Case No. 5)】42 歳男性
病歴) てんかん発作で意識消失しているところを
発見され, 近医へ救急搬送となった。頭部精査で

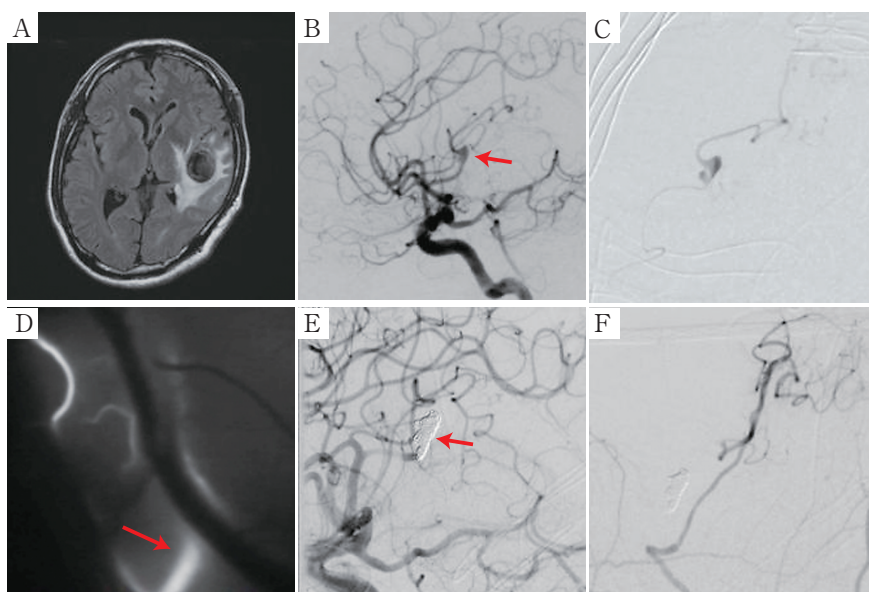


図 2

A) MRI FLAIR 画像

左シルビウス裂に周囲に浮腫を伴う 3cm 大の腫瘍性病変を認める。

B) 左内頸動脈撮影

赤矢印：部分血栓化した動脈瘤の一部が描出されている。

C) マイクロカテーテル造影

動脈瘤と遠位の正常血管 (central artery) が描出される。

D) ICG 選択的動注

赤矢印：動脈瘤遠位の central artery が ICG videoangiography にて描出されている。

E) 左内頸動脈撮影

コイルを用いた母血管閉塞により動脈瘤は描出されない。

赤矢印：コイル塊

F) 左外頸動脈撮影

バイパスを介して動脈瘤遠位の central artery が描出されている。

左中大脳動脈瘤を指摘され当科紹介となった。

既往歴、家族歴、生活歴) 特記すべき事項なし
神経学的所見) JCS: 1 自発性低下, その他に明らかな神経学的異常所見なし

画像所見) MRI で左シルビウス裂後方に, 周囲に浮腫を伴う 3cm 大の腫瘍性病変を認める (図 2A). DSA (digital subtraction angiography) では左中大脳動脈末梢に部分血栓化を伴う動脈瘤が描出される (図 2B).

治療) 治療 4 日前からアスピリン 100mg/day の内服を開始し, 治療当日も継続した。全身麻酔導入後仰臥位で右大腿動脈にシースを挿入し, 左前頭側頭開頭を行って donor の STA 頭頂枝を剥離した。続いて動脈瘤近位にマイクロカテーテル (SL-10) を誘導し (図 2C), 0.05mg/ml に希釈した ICG を動注して recipient (central artery) を同定した (図 2D)。10-0 ナイロン糸を用いて STA-MCA bypass を行った後, 全身ヘパリン化

し動脈瘤を母血管ごとコイルで塞栓した。動脈瘤は描出されなくなり, 動脈瘤遠位の central artery はバイパスを介して灌流されるようになった (図 2E, F)。プロタミンにてヘパリンを half reverse し, 閉頭して手術を終了した。術後 3 週間後に神経症状の増悪なく自宅退院となった。

【代表症例 2 (Case No.6)】 49 歳男性

病歴) 頭部精査で偶然左前下小脳動脈瘤を指摘され他院でステント併用コイル塞栓術を企図されたが, 前下小脳動脈 (AICA; anterior inferior cerebellar artery) 遠位にカテーテルが誘導できず治療断念となり当科紹介となった。

既往歴・家族歴・生活歴) 特記すべき事項なし
現症) 意識清明, 明らかな神経学的異常所見なし
画像所見) MRI で左 AICA 分岐直後に動脈瘤を認める。DSA および 3D-DSA では動脈瘤の大きさは 9.3×8.4 mm でネックは 7.4mm と広く, 左

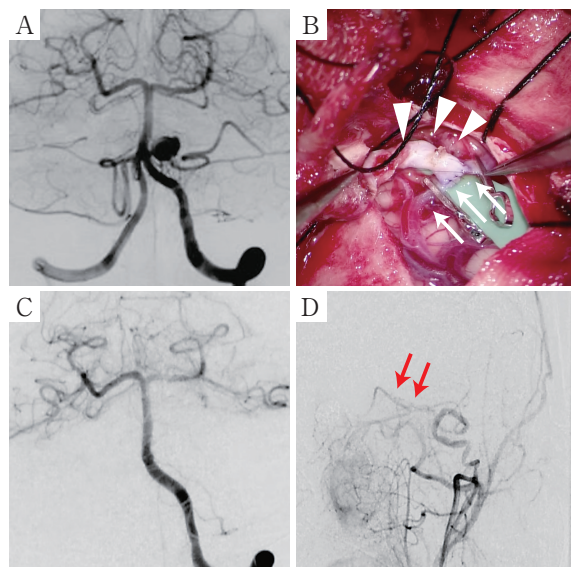


図3

- A)** 術前左椎骨動脈撮影
前下小脳動脈(AICA)起始部に動脈瘤を認める。
B) 術中写真(OA-AICA bypass)
白矢頭: Donorの後頭動脈(OA)
白矢印: RecipientのAICA末梢
C) 術後左椎骨動脈撮影
Endovascular trappingにより動脈瘤は描出されていない。
D) 術後左外頸動脈撮影
赤矢印: バイパスを介して逆行性にAICA末梢が描出されている。

AICA 自体が膨隆しているような所見であった(図3A)。

治療) 治療の1週間前からアスピリン100mg/dayの内服を開始し, 治療当日も継続した。全身麻酔導入後に左大腿動脈に kink-resistant sheath を挿入してから腹臥位とした。左後頭開頭を行って donor の後頭動脈(OA; occipital artery) を剥離した。続いて動脈瘤近位の左 AICA 起始部にマイクロカテーテル(SL-10)を誘導し, 0.05mg/ml に希釈した ICG を動注して recipient である AICA 末梢枝を同定した。剥離した OA と AICA 末梢を 10-0 ナイロンで吻合した(図3B)。その後全身ヘパリン化し, 動脈瘤を母血管ごとコイルで塞栓し endovascular trapping を施行した。動脈瘤は描出されなくなり, 動脈瘤遠位の AICA はバイパスで灌流されるようになった(図3C, D)。プロタミンにてヘパリンを half reverse し, 閉頭して手術を終了した。神経脱落症状なく術後18日目に自宅退院となった。

【代表症例3 (Case No. 9)】70歳男性

病歴) 腹部大動脈瘤の術前精査で無症候性右内頸動脈狭窄症を指摘された。腹部大動脈ステント留置術後に頸動脈狭窄症に対する治療目的に当科紹介となった。

既往歴) 高血圧症, 2型糖尿病, 脂質異常症, 肺がん(59歳時に摘出術施行)

家族歴) 父: 脳卒中(詳細不明)

生活歴) 喫煙: 20本×50年(4ヶ月前より禁煙)

現症) 意識清明, 明らかな神経学的異常所見なし
画像所見) 頸動脈エコーで右内頸動脈近位に等～高輝度プラークを認め, その遠位で peak systolic volume: 206cm/s と血流速度の上昇を認めた。造影CTで右内頸動脈近位部に NASCET 法で70%の狭窄を認めた。また腹部大動脈から両側総腸骨動脈にステントグラフトが留置されていた(図4A)。さらに大動脈弓は type 3 で鼠径部からのアクセスは不良であり, DSA を行ったが右総頸動脈に選択的にカテーテルを誘導することが困難であった。

治療) 腹部大動脈瘤治療時よりアスピリン

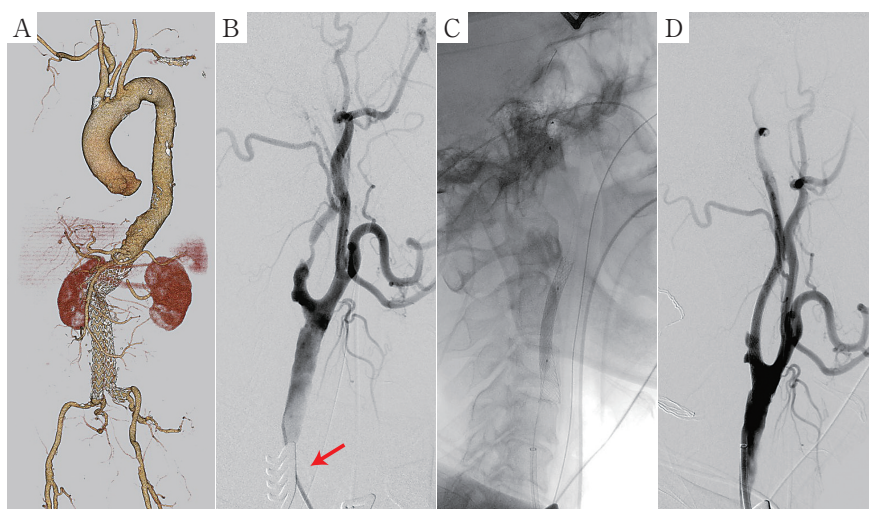


図 4

A) 大動脈造影 CT

腹部大動脈瘤に対するステント留置術後. 大動脈弓も type 3 でアクセス不良.

B) 右総頸動脈撮影 (治療前)

赤矢印: 頸部の開創部分よりシース挿入.

C) 術中写真

ステントが留置されバルーンにて後拡張を行った.

D) 右総頸動脈撮影 (治療後)

右内頸動脈の狭窄は改善している.

100mg/day, クロピドグレル 75mg/day, シロスタゾール 200mg/day の内服を開始されており, 治療当日も継続した. アクセス不良でプラークも高位であったため, 総頸動脈直接穿刺による CAS (Carotid artery stenting) を行った.

全身麻酔導入後仰臥位で右総頸動脈を露出し, 6Fr Destination 45cm (Terumo Corporation, Tokyo, Japan) を留置した (図 4B). ヘパリン 4,000 単位を全身投与し, ACT を前値の 2 倍以上に延長した. 遠位塞栓予防のため右内頸動脈高位に Spider FX 6.0mm (Covidien, Dublin, Ireland) を留置した. Sterling 3.5×30mm (Boston Scientific, Marlborough MA, USA) で前拡張を行い (6 気圧 30 秒), Carotid WALLSTENT 10×31mm (Boston Scientific, Marlborough MA, USA) を狭窄部に留置した. 続いて Aviator 4.5×30mm (Cardinal Health, Inc., Dublin, OH, USA) を用いて 10 気圧 15 秒で後拡張を行い (図 4C), Spider FX で debris を回収して血管内治療を終了した (図 4D). プロタミンにてヘパリンを half reverse し, ガイディングシース抜去部分を 6-0 プロリン 2 針にて縫合止血して手術を終了した. 脳梗塞などの術後合併症なく, 術後 8 日目に自宅

退院となった.

考 察

脳血管障害の治療には開頭クリッピング術などの直達手術とコイル塞栓術などの血管内治療があり, 症例によっていずれかの治療法が選択されることが多い. しかし大型・巨大動脈瘤やアプローチ困難な頸動脈狭窄症, 血管奇形などの治療難易度の高い脳血管障害においては, 直達手術または血管内治療のどちらか単独では十分な治療安全性や根治性が確保できないことがある. このような治療困難な脳血管障害に対して, ハイブリッド手術室を活用して両者を組み合わせることで, 安全性と根治性の高い治療を施行できることが報告されている¹⁾²⁾. これまでに動脈瘤^{1)~3)} や頸動脈狭窄症¹⁾⁴⁾⁵⁾, 脳動静脈奇形や硬膜動静脈瘻などのシャント疾患⁶⁾⁷⁾ に対するハイブリッド手術室を活用した治療の有用性に関する報告があり, 当科での case series でも全例で治療合併症はなく安全かつ根治的な治療が可能であった.

ハイブリッド手術室は血管撮影装置を備えた手術室で, 近年脳神経外科領域において普及が進んでいる. ハイブリッド手術室を活用した複合治療

のメリットとして、①直達手術と血管内治療のシンプルな手技を組み合わせることで安全性・根治性が向上する、②一回のセッションで治療を完遂できるため患者の負担が少ない、③手術室と血管造影室間の移動リスクがない、ということが挙げられる。例えば代表症例1, 2のように動脈瘤が大型もしくは深部に存在するとクリッピング・血管内治療ともに治療の難易度は高いが、ハイブリッド手術室を利用した複合治療では直達手技ではバイパス、血管内手技では母血管閉塞という比較的難易度の低い手技を同一手術室で行うことにより、1セッションで比較的安全に根治が得られる。さらに症例3のようにアクセスルートが困難な場合も、手術室にて安全にアクセスルートを確保してから、移動のリスクなく血管内治療に移行できるメリットがある。また、ハイブリッド手術室を利用する際にはマイクロカテーテルからのICG選択的動注が大変有用であるため、我々は積極的に使用している^{8)~10)}。バイパスのrecipientや複雑な血管奇形の血管構築を容易に同定することが可能である。0.05mg~0.1mgに希釈したICGはすぐにwashoutされるため、repeatableに造影できるのも利点の一つといえる。

しかしハイブリッド手術室における複合治療は直達手術と血管内治療を同一セッションで行うため、いくつかのtechnical tipsが存在する。まず治療手技や使用機器が多いため煩雑になるということである。頭部固定のフレームやアームと透視のCアームが干渉する可能性があるため、頭部固定後にCアームが問題なく入っていくか確認する必要がある。また治療前にシースを挿入するが、シース挿入後から血管内治療開始まである程度時間がかかるため、我々は血栓形成予防のためにヘパリン加生食でシース内を持続灌流している。腹臥位ではkink-resistant sheathを使用し、血管内治療時に術者に近くなるよう仰臥位の場合と反対の左大腿動脈に留置する。

また血管内治療における抗血栓療法のため、直達手術における止血が困難になることがある。複合治療においても抗血栓療法が不十分であると虚血性合併症を引き起こす可能性があることが報告されているため²⁾、通常の血管内治療と同様に十分な抗血栓療法を行うことが重要である。動脈瘤や血管狭窄に対する治療では抗血小板薬の術前か

らの投与が望ましいが、我々は術前4日以上前から抗血小板薬の内服を開始するようにしている。頸動脈狭窄症の場合はステントを留置するため抗血小板薬を2剤、動脈瘤の場合は開頭手術を併用するためアスピリンのみを投与している。術中の血管内治療時も十分な抗凝固療法が必要であり、開創部の十分な止血を確認してからACTを前値の2倍または250~300秒に延長させるように全身ヘパリン化を行っている。このような抗血栓マネジメントにより、現在のところ虚血性合併症は経験していない。ただし血管内治療前の開創部の止血が不十分であると、ヘパリン化に伴い出血量が著明に増加する可能性がある。術野全体の止血を厳密にコントロールすることはもちろんであるが、十分な止血が得られたと思ってもヘパリン化後に硬膜外腔から出血を認めることがある。そのため我々は骨縁における硬膜の吊り上げを1~2cm間隔で密に行い、硬膜外出血を最小限にするようにしている。さらに血管内治療終了後、閉創前にヘパリンをhalf reverseすることで出血コントロールが容易となる。

このようにハイブリッド手術室を活用した複合治療はシンプルな手技の組み合わせにより高い安全性・根治性を期待でき、どちらか一方の手段では治療困難な脳血管障害に対する有力な治療方法の一つといえる。しかし虚血性合併症や出血性合併症を予防するため、適切な抗血栓療法・止血マネジメントが重要である。

結 論

治療困難な脳脊髄血管障害症例に対しハイブリッド手術室を活用することで、安全かつ根治性の高い治療を提供できる。

参 考 文 献

- 1) Iihara K, Satow T, Matsushige T, Kataoka H, Nakajima N, Fukuda K, Isozaki M, Maruyama D, Nakae T and Hashimoto N : Hybrid operating Room for the Treatment of Complex Neurovascular and Brachiocephalic Lesions. J Stroke and Cerebrovasc Dis 22 : e277-e285, 2013.
- 2) Murayama Y, Arakawa H, Ishibashi T, Kawamura D, Ebara M, Irie K, Takao H, Ikeuchi S, Ogawa T, Kato M, Kajiwara I, Nishimura S and Abe T : Combined surgical and endovascular

- treatment of complex cerebrovascular diseases in the hybrid operating room. *J NeuroIntervent Surg* 5 : 489-493, 2013.
- 3) Mori R, Yuki I, Kajiwara I, Nonaka Y, Ishibashi T, Karagiozov K, Dahmani C and Murayama Y : Hybrid Operating Room for Combined Neuroendovascular and Endoscopic Treatment of Ruptured Cerebral Aneurysms with Intraventricular Hemorrhage. *World Neurosurg* 89 : 727. e9-727. e12, 2016.
 - 4) Zhang K, Gao BL, Ishibashi T, Zhao TY, Li TX, Xue JY, He YK, Cai DY and Yang BW : Hybrid operation to revascularize long-segment occluded internal carotid artery prevent further ischemic events. *Neuroradiology* 61 : 217-224, 2019.
 - 5) Starodubtsev V, Karpenko A and Ignatenko P : Hybrid Interventions in the Case of Combined Stenosis of the Carotid Bifurcations and Supra-Aortic Arteries. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 25 : 63-66, 2016.
 - 6) Lin N, Brouillard AM, Mokin M, Natarajan SK, Snyder KV, Levy EI and Siddiqui AH : Direct access to the middle meningeal artery for embolization of complex dural arteriovenous fistula. *BMJ Case Rep* 2014 ; Doi : 10.1136/bcr-2014-011256.
 - 7) Shen SC, Tsuei YS, Chen WH and Shen CC : Hybrid surgery for dural arteriovenous fistula in the neurosurgical hybrid operating suite. *J NeuroIntervent Surg* 2015 ; 7 : e6. Doi : 10.1136/neurointsurg-2013-01160. rep.
 - 8) Gruber A, Dorfer C, Bavinzski G, Standhardt H, Ferraz-Leite H and Knosp E : Superselective Indocyanine Green Angiography for Selective Revascularization in the Management of Peripheral Cerebral Aneurysms. *Am J Neuroradiol* 33 : E36-37, 2012.
 - 9) Horie N, So G, Debata A, Hayashi K, Morikawa M, Suyama K and Nagata I : Intra-arterial Indocyanine Green Angiography in the Management of Spinal Arteriovenous Fistulae. *Spine* 37 : E264-267, 2012.
 - 10) Yamamoto S, Kim P, Kurokawa R, Itoki K and Kawamoto S : Selective intraarterial injection of ICG for fluorescence angiography as a guide to extirpate perimedullary arteriovenous fistulas. *Acta Neurochir* 154 : 457-463, 2012.

(Received for publication August 19, 2019)