

脳神経外科手術における安全対策のガイドライン

厚生労働科学研究費補助金

医療技術評価総合研究事業

脳神経外科手術におけるヒヤリ・ハット事例、事件事例、訴訟事例の
分析による手術治療安全対策ガイドライン作成に関する研究

平成 17 年度～平成 18 年度 総合研究報告書

主任研究者	児玉 南海雄	研究協力者	佐々木 達也
分担研究者	河瀬 斌		堀口 崇
	佐々木 富男		松角 宏一郎
	橋本 信夫		高木 康志
	岩崎 喜信		矢野 俊介, 飛驒 一利
	吉田 純		宮地 茂

平成 19 (2007) 年 3 月

目 次

はじめに-----	1
第 1 章 開頭および穿頭手術-----	2
児玉 南海雄, 佐々木 達也 (福島県立医科大学脳神経外科)	
第 2 章 脳腫瘍の手術-----	10
河瀬 斌, 堀口 崇 (慶應義塾大学脳神経外科)	
第 3 章 脳動脈瘤の手術-----	20
佐々木 富男, 松角 宏一郎 (九州大学脳神経外科)	
第 4 章 脳動静脈奇形の手術-----	23
橋本 信夫, 高木 康志 (京都大学脳神経外科)	
第 5 章 脊髄脊椎の手術-----	28
岩崎 喜信, 矢野 俊介, 飛騨 一利 (北海道大学神経外科)	
第 6 章 血管内手術-----	35
吉田 純, 宮地 茂 (名古屋大学脳神経外科)	
第 7 章 その他の脳神経外科疾患の手術-----	37
児玉 南海雄, 佐々木 達也 (福島県立医科大学脳神経外科)	
おわりに-----	43
参考文献-----	44

はじめに

厚生労働省科学研究『脳神経外科手術におけるヒヤリ・ハット事例、事故事例、訴訟事例の分析による手術治療安全対策ガイドライン作成に関する研究』では、平成17年度(初年度)に脳腫瘍手術、脳動脈瘤手術、脳動静脈奇形手術、脊髄脊椎手術、血管内手術の5分野の手術症例を中心に、ヒヤリ・ハット事例、事故事例、訴訟事例を集積し検討した¹⁾。平成18年度はその分析結果を基に、脳神経外科手術における安全対策のためのガイドライン作成を最終目標とした。

平成17年度の研究報告書に集積した5つの分野における事例をみると、各種疾患において硬膜内操作前の開頭手術そのものに関する事例が多数存在していた。また5つの分野以外の疾患においても無視できない事例の報告もみられた。そのため、硬膜内操作前の開頭・穿頭手術と5分野以外のその他の疾患における手術の2項目を新たに加え、7項目における安全対策を記述した。

手術に関するガイドラインを作成する場合、他疾患の診断治療のガイドラインに見られるようなエビデンスの集積を行うことは困難である。そのため実際に事故が発生したかどうかよりも、重篤な障害を来す可能性がありかつ医療事故防止の観点から重要と思われる事例を選択し、なるべく普遍的な記載を心がけた。さらに関連する文献を可能な限り収集し、発生原因の分析と発生の予防や再発防止に関する解説を加え、脳神経外科手術の安全対策のためのガイドラインを作成した。

本ガイドラインが脳神経外科手術における医療事故の防止に少しでも役立つことを念じている。

第1章 開頭および穿頭手術

児玉 南海雄, 佐々木 達也 (福島県立医科大学脳神経外科)

1. 麻酔科医との事前協議

手術前の麻酔科医とのコミュニケーションは重要である。手術に必要なモニタリングの種類による麻酔方法の選択や筋弛緩レベルのモニタリング下に筋弛緩剤の投与を依頼する場合も必ず事前に協議しておく。小児例や長時間の手術が予想される症例、脳保護の目的で低体温麻酔を依頼する場合、そして脳幹部の手術で自発呼吸を出した状態での麻酔を依頼する場合も同様である。手術体位や頭位、特に坐位、伏臥位、park bench positionの手術では事前に打ち合わせを行ったうえで種々の対策を講じておく必要がある。またモヤモヤ病をはじめとする脳虚血性病変を有する症例の手術では特に術中の血圧・ PO_2 ・ PCO_2 の管理について打ち合わせしておく。その他にも静脈圧のコントロール、体温のコントロール、補液の種類・量、術中に使用する薬剤の種類・量などについてもあらかじめお互いに確認し、麻酔科医と術者間の協力態勢を構築した上で手術に臨むことが重要である。

2. 手術部位の誤認

左右誤認

手術部位の誤認で最も多いのが穿頭や開頭手術における左右誤認である。手術部位の確認、特に左右の確認は重要であり、体位設定時、皮膚切開のマーキング時、皮膚切開の直前に、頻回に確認する必要がある。さらに、手術部位の誤認が生じにくい環境の整備も必要であり、手術室に入室する前に患者の体に手術部位を記入しておくなどの工夫も有用である。手術部位の誤認は極めて明白な過誤²⁾であり、単なるミスでは済ますことはできないことを肝に銘じておく必要がある。

3. 体位・頭位に伴う合併症

1) 神経障害

体位による末梢神経障害は比較的頻度の高い合併症である。腕神経叢麻痺、尺骨神経麻痺、橈骨神経麻痺、外側大腿皮神経麻痺などの報告がある³⁾。腕神経叢麻痺は park bench position で右肩を尾側へ牽引することにより発生することが多い。特に皮下脂肪の少ない痩せ型の女性でリスクが高いことが報告されている⁴⁾。腸骨部における外側大腿皮神経障害も痩せ型の患者に多い。体位設定時には患者の体型などを考慮し、入念な配慮を看護師と共に行っていく必要がある。また、脊柱管狭窄を伴う頸椎疾患の患者では頸部過後屈を避けなければならない。米国麻酔科学会が推奨する positioning については文献⁵⁾を参照されたい。

2) 空気塞栓

坐位手術における最も注意すべき合併症で、致死的合併症となる危険があり、その予防、早期発見および早期治療が重要である⁶⁾。超音波ドップラーによる検討では坐位手術の25%に空気塞栓が発生していた⁷⁾。坐位以外の体位でも空気塞栓を来した症例の報告^{7,8)}も見られ、術野が心臓より高い位置にある場合には常にその危険がある。予防のためには術野を心臓よりあまり高くしないこと、頸部にターニケットを巻き静脈圧を上昇させる準備をしておくこと、術野を湿ったガーゼで覆うこと、板間層からの静脈性出血は直ちに骨蠟で止めること、などが挙げられる。坐位手術では診断のためのドップラーと空気を除去するための中心静脈カテーテルをあらかじめ準備しておくことが必須である。

3) 頭部固定器による合併症

頭部固定のピンはその位置や角度によってはずれることがある。ピンに加わる力の方向に注意して固定し、手術中には頭部に無理な力を加えないように注意する必要がある。また、頭部固定のピンによる骨折や硬膜外血腫の報告がある⁹⁾。Mayfieldの頭蓋固定器の取扱説明書には目安と

して圧力は 60 ポンド以上が適切であるが、80 ポンド以上の圧力は絶対に加えないように記載されている。この 60 ポンドの圧力は、Mayfield 固定器のシャフトが 3 目盛り押し出されることにより確認することができる。また、5 歳未満の小児への使用も避けるように記載されているが、実際には小児例においても固定器が使用されることは少なくない。小児における合併症では陥没骨折の報告^{10,11,12)}が多い。小児の場合には、4 本以上の固定ピンを用いたり、固定圧を 20-30 ポンドとするなどの対策が必要である¹²⁾。水頭症を合併し頭蓋骨が菲薄化している症例では特に注意が必要である¹²⁾。さらには Mayfield の頭蓋固定器そのものが壊れたという報告¹³⁾もあり、定期的なメンテナンスを要するものと考えられる。

また、開頭手術の既往のある症例や骨折を伴っている外傷の症例では、前回の開頭部位や骨折部に固定用のピンがかからないように注意することも重要である。

さらに、固定器のレバーやアダプターとの連結部分は圧布をかければみえなくなるので、事前にその固定が確実かどうか確認しておくことも重要である。

4) 顔面、頭部および体部の褥創

馬蹄型ヘッドレストにより顔面や頭部に局所的に圧迫が加わる部分には顔面の褥創や頭部の脱毛が生じうることを念頭におき、体位を作る必要がある。特に長時間の手術が予想される場合には、その防止が重要である。体部でも圧迫が長時間に及べば、褥創を生じる。褥創形成の原因は局所の循環障害で、圧迫のほかにも持続的な皮膚のずれによって起こる可能性もある。局所的な圧迫を来たすような体位をとらないこと、手術台を傾けて手術をする場合には皮膚にずれが生じないように注意することが必要である^{14,15)}。圧力がかかると予想される部位にはあらかじめ厚めのパッドをあてるなどの工夫も有用である。

4. 開頭・穿頭に伴う合併症

1) 皮膚切開時の脳損傷

外傷により骨折を伴っている症例で、一気に骨膜まで達するような皮膚切開を行うと、骨折線を通してメスが脳を損傷する危険がある。再開頭の症例でも同様のことが起こり得る。骨折を認める症例、再開頭の症例では常に注意すべき合併症である。

2) 皮膚弁の眼球圧迫による失明

翻転した皮膚弁や手術器具による眼球の圧迫が原因で失明することがある¹⁶⁾。皮弁を強く引きすぎないようにし、引く方向にも注意し、眼球が圧迫されていないことを確認する必要がある。また、眼動脈が中硬膜動脈から血液供給を受けていることがあり、中硬膜動脈の切断により視力を喪失した症例の報告¹⁷⁾もあり、前頭側頭開頭術時に注意すべき合併症として認識しておく必要がある。

3) 顔面神経損傷

前頭側頭開頭手術時に皮膚弁のみを剥離すると側頭筋の浅層上を走行している顔面神経前頭側頭枝を損傷する。側頭筋を浅層と深層の間の脂肪層で剥離することにより予防が可能である^{18,19)}。特に未破裂脳動脈瘤の症例では顔面神経を損傷しないように十分に注意するだけでなく、生じうる合併症のひとつとして術前に説明しておくべきと考えられる。

4) 後頭下開頭時の椎骨動脈損傷

後頭下開頭時の皮膚切開・皮膚と骨の剥離・骨削除に際して、環椎と大後頭孔の間で硬膜外を走行している椎骨動脈を損傷しないように細心の注意を払う必要がある。椎骨動脈の解剖を熟知するとともに、損傷する可能性があることを常に念頭におき、慎重な操作が必要である。閉塞しても症状が出ない症例も存在するが、Wallenberg 症候群などの重篤な障害が残存する症例もある。

5) 穿頭器による静脈洞損傷

静脈洞の直上に穿頭する場合、穿頭器の先端で静脈洞壁を損傷しないように注意する必要がある。また後頭蓋窩の開頭で誤って静脈洞の直上に穿頭し静脈洞壁を損傷する場合があります、静脈洞の直上を避けるという認識が必要である。静脈洞直上の硬膜と骨の剥離が不十分な状態で骨削除を行うと、導出静脈が引き抜け、静脈洞壁の欠損を来し、大出血を引き起こすこともある。穿頭時、開頭操作中、硬膜切開時と常に静脈洞の存在を意識するとともに、解剖学的な landmark²⁰⁾を常に確認しながら手術を行うことが重要である。

6) 穿頭器による脳損傷および筋損傷

現在の穿頭器には脳を突き刺さないように種々の工夫が施されている。しかし、骨が非常に薄い前頭洞内板や側頭骨、高齢者の脆い骨、外傷例で既に骨折が存在している骨などでは穿孔し脳を損傷する場合があります。また骨が薄くなくとも過剰な力をかけると、穿頭器により骨を破壊し穿頭器に垂直方向の硬膜を貫き脳まで突き刺す可能性もある。圧搾空気を用いる穿頭器ではブレードをきちんと取り付けないとストッパー機能が有効に作動しないこともある。したがって穿頭に際しては、常に脳を突き刺す危険性があることを認識しておく必要がある。障害を来した場合は明らかな過誤となる。また穿頭器の方向が悪かったために眼窩上壁を削除し上眼瞼挙筋を損傷し、眼瞼の挙上障害を呈した事例も認められる。眼窩上縁に穿頭する際には穿頭器の方向を眼窩に向けないことが必要である。

7) エアトームによる硬膜切開と脳損傷

線鋸でも、エアトームでも骨を切る場合には、骨内面と硬膜の間を十分に剥離し、線鋸誘導子などで骨と硬膜が確実に剥離されていることを確認する必要がある。高齢者の症例や再開頭の症例では骨と硬膜の癒着が強いので、剥離操作を確実に行う必要がある。癒着が強い場合は躊躇

することなく、追加の穿頭を設ける、細いリュウエルで骨を削除するなどの対応が必要である。

8) 硬膜切開時の動静脈損傷および脳損傷

硬膜切開時に脳を損傷しないことは脳神経外科手術の基本中の基本であり、脳神経外科医として絶対に避けなければならない合併症である。特に頭蓋内圧が亢進している症例では硬膜と脳表の間にスペースがないので、顕微鏡下に硬膜を切開したり、硬膜下腔にスパーテルや綿片を挿入して脳を保護するなどの慎重な操作が必要である。脳腫脹が強い例では硬膜切開縁から脳が膨隆してきて脳損傷がおこる。あらかじめ脳腫脹が強いことを予測し、マンニトールを使用し、頭位を含めた静脈圧を下げる工夫、麻酔科医への過呼吸の依頼など、頭蓋内圧を下げるための十分な対策を講じた上で硬膜切開を行うことが肝要である。それでも脳が膨隆するような場合には、脳内血腫や硬膜下血腫が原因であればそれを可及的早期に除去する、脳室ドレナージによって髄液を排除する、比較的症状の出ない部位の脳を切除して内減圧を行うなど、症例毎の病態に即した迅速かつ的確な対応が必要である。

9) 脳籠による脳損傷

脳籠による脳・血管および神経の損傷は種々の条件下で生じる。脳籠の固定に関してはすべての joint を少々のことではゆるまぬ様にきちっと締め固定する。狭い顕微鏡術野に意識が集中し脳籠を術者の手が徐々に圧迫する場合、脳籠や固定器に不用意に手が触れ脳籠が急に動いたり、電動椅子を上昇させているときに脳籠の固定部分を術者の膝で圧迫する場合、麻酔が浅くなり急に backing が起きた場合など、状況は多彩である。術中に患者の体位をかえるために手術台を動かす場合、術者が交替する場合などに脳籠をはずすことは勿論のこと、脳籠の使用は必要最小限とするように心掛けることも重要である。

10) チタンプレート固定用ドライバーによる脳損傷

穿頭器と同様にチタンプレート固定用ドライバーなどの先端が鋭利な手術器具は脳に突き刺さる可能性がある。すべての手術器具に共通することであるが、常に滑る可能性があることを念頭におき、万が一滑った場合に片手がストッパーとしての役割を果たすように両手で手術器具を把持するなど、安全な操作を心がけるべきである。チタンプレート関係の器具については製品番号を記録しておくことも必要である。

11) 硬膜縫合が不十分なための髄液漏

硬膜の縫合は water tight が原則であるが、それが必ずしも守られず、髄液が創部や前頭洞から漏出することがある。髄膜腫にて自家硬膜を使用できない場合、使用できても緊張がかかる場合、Goretex などの異物を用いる場合など、その状況は多彩である。再手術で収まらず、再々手術を要することもあり、さらに重篤な合併症である髄膜炎を引き起こすこともある。自家硬膜に不足がある場合、可能な限り自家組織（筋膜、帽状腱膜など）を用いるべきである。安易にフィブリン糊に頼ることなく、基本的な手技ではあるが、硬膜の縫合が重要であることを再認識する必要がある。また、前頭洞が開放された場合の処置は各施設においてそれぞれの方法で water tight、air tight となるように修復されている。前頭洞の処置が不適切であれば、髄液漏のみならず気脳症も来たす可能性があり、硬膜外に気腫を認めたり、慢性期に硬膜外膿瘍を来たすことがある。乳突蜂巣を開放した場合も同様にその処置が不十分であれば、高頻度に滲出性中耳炎を来たす。Goretex などの人工的製品に関しては製品番号を記録することが必要である。

12) 後頭蓋窩開頭術後の皮下髄液貯留

後頭蓋窩開頭術後に皮下に慢性的な髄液貯留を来たすことがある。この髄液貯留は髄膜炎を引き起こす可能性があり、その予防および発生した場合の適切な処置が重要である。治療の原則は硬膜を十分に縫合する

ことと、死腔を減少させることである²¹⁾。穿刺・圧迫や腰椎部からの脊髄ドレナージにて改善しない場合には、早期に漏孔閉鎖術に踏み切るべきである。漏孔閉鎖術を施行する場合に脊髄ドレナージを併用し圧を下げれば確実な閉鎖が得られる。

13) 異物遺残

不注意によるミスであるが、一向に後を絶たない。残存する異物で最も多いのが綿片であるが、手術器械や材料の一部が残存することもある。顕微鏡下の手術では糸付綿を使用するが、綿片の遺残を防止するためには、綿片を count することである。脳室内腫瘍など深部の手術で遺残することが多いが、脳表の手術でも起こりうる。遺残しても無症状のこともあるが、感染源となったり肉芽腫形成のリスクがあることが報告されている^{22,23)}。X線で描出可能な綿片の使用が推奨されている²⁴⁾。

5. 輸液・輸血に伴うトラブル

1) 動脈ラインの異常による合併症

動脈ラインのデバイスの故障により薬剤が注入されなかったり、逆に過剰投与を来たすことがある。ヘパリンが過剰に投与されたことによる術後の血腫増大や必要薬剤が入らなかったことによる合併症を来たす。

2) 輸血過誤

輸血過誤の中で最も頻度が高いのが ABO 不適合輸血である。ABO 不適合輸血は致死率が高く、各施設において種々の防止対策がとられているが、あとを絶たないのが現状である²⁵⁾。原因は、輸血用血液バックの取り違い、血液型判定ミス、血液型転記ミス、患者の取り違いなどが多く、輸血過誤の当事者としては、看護師、医師、検査技師の順に多くかかわっている^{25,26)}。日本輸血学会は、輸血過誤防止対策として、輸血実施手順書と不適合輸血治療マニュアルを作成し、全国の病院での普及に努めている²⁵⁾。

第2章 脳腫瘍の手術

河瀬 斌, 堀口 崇 (慶應義塾大学脳神経外科)

1. 動脈損傷

脳腫瘍摘出術に伴う動脈損傷は、文献的にも傍鞍部髄膜腫や下垂体腺腫の症例で多いことが報告されている。特に傍鞍部髄膜腫のうち、蝶形骨縁の内側 1/3 に発生する clinoidal meningioma は、内頸動脈系の血管や海綿静脈洞に対する直接浸潤が見られるために全摘出が不可能あるいは困難なものが少なからず存在する²⁷⁾。このような症例においては、定位放射線治療との併用も念頭に置いて治療計画を立てるべき²⁸⁾であり、動脈損傷を生じてまで無理に腫瘍を摘出する意味はない。指標として、内頸動脈が狭窄を来している症例、腫瘍が海綿静脈洞に浸潤している症例、腫瘍が前床突起下面の内頸動脈近位部周辺から発生している症例 (Al-Mefty Group I) などでは、腫瘍の全摘出は不可能とされており、腫瘍の浸潤によって脆弱になっている内頸動脈と腫瘍を無理に剥離することは慎むべきであると考えられる²⁹⁻³²⁾。腫瘍摘出に際しては、早期に腫瘍と主要血管の間にくも膜面が存在するかを確認し、剥離面が存在しない場合は腫瘍を残存させることもやむを得ない^{32,33)}。また同部位の髄膜腫の摘出に際しては、硬膜内操作に入る前にまず硬膜外で前床突起を削除して内頸動脈の深さを早期に把握することで、内頸動脈の損傷を来さずに短時間で腫瘍を可及的に摘出する方法が有用かつ安全であるとされる³³⁻³⁵⁾。これは、視神経と腫瘍との位置関係の把握、腫瘍への栄養動脈の処理、術野の確保、といった点からも推奨されるテクニックである。腫瘍が血管を取り囲んでいても剥離が可能な症例はあるが、この場合も血管から腫瘍を剥がすというイメージではなく、腫瘍に切り込んで内側から腫瘍を摘出し被膜を血管に残すイメージで手術操作を行うと良い。石灰化している硬い腫瘍で剥離操作が困難な場合には血管壁に愛護的な操作を優先し、鈍的剥離ではなく鋭的剥離に徹し、決して無理をしないこと

は言うまでもない^{34,36)}。動脈損傷に遭遇した場合には、サージセルとフィブリン糊による圧迫で止血が得られることが多い。しかし、血管壁損傷の範囲が広い場合には、杉田の有窓動脈瘤クリップにシリコンシートを組み合わせたもので損傷部位を覆う方法も止血効果に優れた有用なテクニックであり、事前に準備しておくことが望ましい³⁷⁾。

一方、動脈損傷に対する術中の対処もさることながら、損傷された内頸動脈に外傷性偽性動脈瘤が発生する可能性があることを常に念頭に置いて経過観察を行うことがより重要であると考えられる。偽性動脈瘤の自然経過は明らかではなく、自然消退した例も報告されている一方で、出血率は高く放置した場合の死亡率は50%以上であるとの報告もある²⁹⁾。したがって、術中に動脈損傷を生じて止血を得た場合には少なくとも術後1から2ヶ月間は血管撮影などで厳重な経過観察を行い、偽性動脈瘤の形成が認められた時点で、可及的速やかに治療を行う必要があると考えられる³⁸⁾。

なお、下垂体腺腫に対する経蝶形骨洞アプローチの際の動脈損傷は別項で解説する。

2. 穿通枝損傷

頭蓋底腫瘍摘出術においては、上述した主幹動脈のみならず、内頸動脈、中大脳動脈、後大脳動脈の穿通枝が巻き込まれている場合には、その損傷の可能性を考慮した安全な手術を計画する必要がある。巨大または浸潤性下垂体腺腫は開頭術が選択される場合があるが、その手術は重篤な神経症状や意識障害を来す危険性が極めて高いと報告されており³⁹⁾、その主な原因として腫瘍がくも膜下腔へ浸潤するために穿通枝と強く癒着し、剥離の際にこれを損傷することが挙げられている^{29,39)}。腫瘍摘出の最大の目的が、視機能を改善させるための視神経の積極的減圧にこそあることを決して忘れてはならない。Clinoidal meningiomaの症例で、内頸動脈が長い距離にわたって腫瘍に巻き込まれている場合には、腫瘍摘出に伴って穿通枝障害を招く可能性が高いと報告されている³¹⁾。主幹

動脈の損傷を回避する場合と同様、腫瘍と血管の間にくも膜面が存在しないような症例や、内頸動脈の狭窄や海綿静脈洞への浸潤を伴っている全摘出が無理な症例では、穿通枝の周囲を含めて腫瘍を残すつもりで慎重に剥離操作を進め、無理な摘出は控えるべきである。弁蓋部から島にかけて存在する神経膠腫も、手術操作により穿通枝障害を来す可能性が高く、摘出が困難な腫瘍である⁴⁰⁾。障害される可能性がある穿通枝は、外側線条体動脈、中大脳動脈の島部からの髄質動脈、中大脳動脈弁蓋部および終末部からの髄質動脈の3群であり、これらの解剖学的走行を把握するとともにシルビウス裂を広く完全に分けること、中大脳動脈からの分枝が走行する脳溝を分け、それぞれの分枝を起始部から遠位部まで追求すること、摘出範囲へ分枝する細かい血管を凝固する際に血管攣縮を予防するため塩酸パパベリンを塗布すること、ナビゲーションシステムを過信して超音波吸引装置などで安易に腫瘍を摘出して行く操作は慎むこと、反復した皮質下電気刺激によるマッピングを行うこと⁴¹⁾などが、穿通枝損傷の可能性を最小限にし得ると報告されているが、最も重要なことは、腫瘍の伸展範囲やサイズ、腫瘍の性状、周囲との境界、腫瘍の局在（優位側か非優位側かも含めて）、患者の年齢や状態、などを考慮に入れた、積極的根治術適応の決定ではないかと思われる。

3. 静脈損傷

実際には半数の手術で細かいものも含めた静脈の切断が行われているという報告があり²⁹⁾、静脈損傷が必ずしも合併症を生じるわけではないが、基本的には、全ての静脈または静脈洞の切断は静脈灌流障害を生じるリスクがあると考え、安易な静脈切断は慎み、温存を心がけることが必要である⁴²⁾。例えば後頭蓋窩架橋静脈は、各静脈間の連絡網によりその大半は切断できると考えられ⁴³⁾、錐体静脈を切断しても危険性は比較的少ないとする報告もある⁴²⁾一方で、特に聴神経鞘腫の手術における錐体静脈の灌流障害は、重篤な合併症を生じるとする報告も多い^{29,44)}。松島らは、錐体静脈の周囲のくも膜を十分に剥離して静脈の可動性を高め

ること、数本存在する錐体静脈の切断は可能であってもこれが一本しか存在しない場合には温存することを勧めている⁴³⁾。永田らは、動脈瘤の手術において高倍率で深部操作を行う際、手前の浅い部分で静脈を損傷しない様に顕微鏡の倍率を時々変えて、周囲の状況に気を配ることを勧めている⁴⁵⁾が、脳腫瘍の手術でも当てはまる重要なポイントであると思われる。

側副路がない場合に切断が危険なものとして、シルビウス静脈、蝶形頭頂静脈洞、側頭葉下面の静脈などが挙げられるが、やむを得ずこれら静脈の切断を考慮する事態になった場合、術中にクリップによる閉塞テストを行うことが勧められる。静脈上流で静脈内圧モニターを行い、体性感覚誘発電位 (somatosensory evoked potential, SEP)、運動誘発電位 (motor evoked potential, MEP)、聴性脳幹反応 (auditory brainstem response, ABR) などのモニターも駆使しながら、注意深く脳腫脹が起こらないかを最低 30 分は観察する。モニターに変化がなく、脳腫脹も認められず、上流の静脈内圧上昇がない場合の閉塞は可能であると考えられるが、静脈内圧が 5-7 mmHg 以上上昇する場合には閉塞は出来ないと判断する^{42,46,47)}。また、切断が危険とされるものとしてラベ静脈、優位側の S 状静脈洞、横静脈洞などが挙げられている⁴²⁾が、術中にこれらを意図的に切断することはないにしても、思いがけず損傷する可能性はある。脳ベラで側頭葉を圧排している際にラベ静脈が引き抜けることがある。静脈周囲のくも膜を十分に剥離するとともに⁴⁸⁾、静脈が硬膜あるいは静脈洞へ流入する場所をあらかじめサージセルとフィブリン糊で強化して引き抜き損傷を予防する⁴⁹⁾、硬膜ごと頭蓋骨から剥離して可動性を高めておく⁴²⁾、などの操作が必要となる場合もある。脳ベラの不用意な挿入も慎むべきであり、脳ベラの先を必ず確認しながら操作することが重要である⁵⁰⁾。また、Kanno らは静脈損傷に加えて、脳ベラによる脳の圧迫が静脈灌流障害ひいては脳損傷を招くと報告しており⁴⁹⁾、体位を工夫することで脳を自重で沈降させ極力脳ベラを用いない工夫や、あるいは、それが無理でも、脳ベラをこまめにかけ変えて間欠的圧排を心がけることも重要である。さ

らに、思いがけず損傷した静脈を安易に凝固切断するのではなく、いざという時のために静脈の再建方法をあらかじめ配慮しておくことが必要である。一般的には、大伏在静脈や頸部静脈を用いるが、人工血管は開存率こそ低い緊急事態をしのぐ方法としては考慮されても良い⁴²⁾。静脈を損傷した場合、静脈の再建も試みられるべきである。

最後に、術前に脳血管撮影の静脈相を十分に読影し、静脈の灌流域、走行（腫瘍によって偏倚していることもある）、側副血行路の程度、静脈洞への合流部位、静脈洞の開存、横静脈洞/S状静脈洞/頸静脈洞の優位側などを確認しておくこと、手術に際しては、頭部を挙上し静脈圧を減らす、頸部の圧迫をしない、胸腔内圧をあげない、などの注意を怠らないことが重要である。

4. 神経損傷

腫瘍の発生部位や手術アプローチによって注意すべき脳神経にも違いがある。錐体斜台部髄膜腫は、前方経錐体骨接近法が用いられることが多い⁵¹⁾。このアプローチの場合、脳神経を損傷しないための重要ポイントがいくつか存在する。錐体骨先端部を露出するために中頭蓋底硬膜を剥離して行く際には、大錐体神経に注意する。この神経は錐体骨上面では硬膜内を走行するため、interdural spaceに入り本神経の perineurium と meningeal dura の間で剥離して温存する。硬膜側に残すと引きちぎれて膝神経節で顔面神経の損傷を生じるためである。剥離温存が困難であれば、むしろ切断の方が良い。また、大錐体神経を確認した後、その内側を可視範囲で錐体骨削除を進めれば、蝸牛、膝神経節、内頸動脈を損傷することはない。錐体骨前半部の削除であるが、前方では外転神経、後方では顔面神経、聴神経の損傷に注意する。外転神経は錐体先端と petrosphenoidal ligament (Gruber 靭帯) で形成される Dorello 管を貫通する。したがって、外転神経麻痺を招かないために、三叉神経圧痕の削除は後外側半分でとどめた方が安全であると考えられる。後方の削除では、弓状隆起の近傍を削除する際に内耳道の硬膜を損傷しない様に、大錐体神

経が中頭蓋窩に現れる場所の後方に膝神経節があり、その内側に内耳道があること、内耳道は外耳道の延長線上に存在することなどを landmark に細心の注意を払ったドリリングが必要となる。硬膜切開時には、特に後頭蓋窩の硬膜に三叉神経根が押し付けられている場合があることを念頭に置く。テント切開は、滑車神経を温存するために、可能であればできるだけ後方で行うことが推奨される⁵²⁾。また、切開したテントに糸をかけて左右に展開する際に強く牽引しすぎると滑車神経の損傷を招くので注意が必要である。腫瘍の摘出に際しては、少なくとも顔面神経、聴神経に対するモニターを用い、慎重に剥離、腫瘍摘出操作を進めることにつぎるが、錐体骨の付着部から腫瘍を剥離する際には脳神経の走行と平行になる方向に進めること、血管温存の場合と同様にくも膜の保全に努めること、鈍的ではなく鋭的剥離を進めることなどが重要であると考えられる。髄膜腫の手術戦略として、早期栄養枝の離断による無血術野下の操作、腫瘍基部方向へ（脳や脳神経から離れる方向へ）の減圧縮小、を心がけることも忘れてはならない^{36,51)}。巨大下垂体腺腫の症例の腫瘍摘出の最大の目的は、視機能を改善させるための視神経の積極的減圧にある。ここで述べる減圧とは視神経と腫瘍の剥離を意味するわけではないことを改めて強調したい。黒川らは、術前視力が悪くないにもかかわらず、前頭側頭開頭で行った下垂体腺腫摘出術後の視力悪化が7例中3例で認められ、本アプローチでは視神経が術野の中央、手前に位置するため、摘出操作に伴って視神経に繰り返し小さな外傷が加わることで視力障害を招く可能性があり、両側視神経が広い視野におさめられる大脳半球間裂接近法が視力の温存に適していると報告している⁵³⁾。巨大下垂体腺腫の場合には、手術の目的を常に念頭に置いて摘出を進めることが最も重要であり、その延長上に、より安全なアプローチの選択があると考えられる。鞍結節部髄膜腫摘出に際しては視神経機能の温存に細心の注意を払う必要がある。佐々木らは同部位の髄膜腫を前頭側頭開頭で摘出する際の欠点として、同側視神経の内側下面が盲目的操作になるため、視神経を挙上して腫瘍を摘出する必要があり、その結果視神経に外力が

加わることから、同側の視力低下が著しい症例では術後にかえって、視力障害が悪化する例があることを述べている。また、視神経の下方にもぐり込んだ腫瘍が視神経を上方へ圧排することにより、視神経管の出口で神経の圧迫が生じていることも、視神経障害が生じやすくなる一因であると考えられるため、早期に視神経管を開放することも勧められている⁵⁴⁾。視神経と腫瘍の剥離においては、視神経に付着する血管はできるだけ温存し、神経の近傍でバイポーラーによる凝固を多用しない、などの配慮も必要である⁵⁵⁾。

5. 経蝶形骨洞アプローチにおける合併症

トルコ鞍部腫瘍に対する経蝶形骨洞アプローチは、一般的には開頭手術と比較して低侵襲であり、安全な手術とされているが、主な合併症が5-10%に、また手術死亡が0.6-0.9%に見られている。本アプローチが基本的には狭く深い術野であること、鞍外に大きく伸展している病変は摘出できないこと、上方には視神経と視床下部があること、側方に内頸動脈があり時に術野に近接して走行すること、病変摘出に際し頭蓋内外が交通する可能性があることなどが、合併症の原因であると指摘されている⁵⁶⁾。髄液漏が原因で術後管理に問題が生じ死に至ることもある。本アプローチ術後の髄液漏の頻度は1.3-3.9%と報告されている^{57,58)}。寺本らは、トルコ鞍内の充填と鞍底形成の重要性を強調しており⁵⁶⁾、一方、西岡らは術中の髄液漏は19%で生じたと報告しており、その危険因子として経蝶形骨洞アプローチの既往、または放射線治療の既往を挙げ、これらの症例における鞍底の確実な形成と長期にわたる経過観察の必要性を述べている⁵⁹⁾。以上から髄液漏に対する基本的な指針としては、トルコ鞍の閉鎖は、髄液の流出がなくとも筋膜あるいは脂肪組織を充填し、髄液の流出が認められた場合は、くも膜の破損部を筋肉片で、残りのスペースは脂肪組織を充填し、さらにこれらの充填物を小骨片あるいはトルコ鞍プレートを用いて鞍底形成を行うことで支持することが重要であると考えられる⁵⁶⁾。一方、本アプローチで手術した患者は、前頭蓋底に骨

折があることを念頭において、術後管理にも十分な注意が必要であると思われる。内頸動脈の損傷は本アプローチの合併症の中でも、最も重篤で致命的なものである。その頻度は0.2-0.5%と報告されている⁵⁶⁾が、損傷部位としては海綿静脈洞部が大部分である。対策としては、まず術前のMRI冠状断から内頸動脈の走行や腫瘍との関係を把握することが重要である。内頸動脈は時に内側へ強く走行異常をきたすことや、動脈瘤の合併が生じ得ることを念頭に置く。手術の際には、内視鏡の併用、ドップラー装置の利用が推奨される。万が一出血を来した場合は、まずは強いパッキングで止血を得るしかないが、その上で直ちに内頸動脈撮影を行う必要がある。また、動脈損傷の項で既に述べた様に、止血が得られても、その後の偽性動脈瘤の形成や動脈閉塞、内頸動脈海綿静脈洞瘻に至る可能性があり、慎重な経過観察が必要であること、損傷部位に対しては血管内治療やバイパス術を用いた治療が必要となることも繰り返し強調しておきたい⁵⁶⁾。

6. 脳室内腫瘍手術における合併症

脳室内腫瘍の手術は、脳神経外科手術の領域で困難な手術の一つであるとされる。その理由は、脳の深部に位置する腫瘍であること、重要な神経組織や血管に近接すること、などが挙げられている⁶⁰⁾。第三脳室周囲およびそのアプローチの経路には、大脳皮質、脳梁、脳弓、内包、視床、視床下部、などが存在し、これらの損傷に注意するとともに、上矢状静脈洞、架橋静脈、視床線条体静脈、動脈などの温存が必要となる。山本はこれらの重要構造物を損傷しないように脳室内腫瘍10訓⁶⁰⁾として1. 手術解剖学の習熟、2. 的確な手術アプローチの選択、3. 開頭部位の配慮、4. 的確な脳の圧排、5. 最小限の脳組織切開、6. 動脈及び静脈の温存、7. 的確な脳ベラの方向、8. 周囲の重要構造に対する愛護的操作による腫瘍の摘出、9. 適切な術野の確保（内視鏡の併用も含めて）、10. 無血的視野の確保、が重要であると述べている。特に、モンロー孔の約10ミリ外側には内包膝部が存在すること、モンロー孔の後方、後外側は視床で構

成されていること、第三脳室の側壁上半分は視床、下半分は視床下部で構成されていること、などを熟知した上で腫瘍と周囲組織の剥離を行うことが重要であり、内減圧によって腫瘍の表面を露出して、この面を見失わない様に剥離することが勧められている。ただし、頭蓋咽頭腫では第三脳室底に、胚細胞種では四丘体で癒着が強いため、この場合には腫瘍の一部を残すことも考慮する。視床線条体静脈の温存に関しては、モンロー孔を拡大する目的で切離可能とする文献⁶¹⁾もあるが、視床や基底核の梗塞などを生じた例も報告されており、術前に切離の安全性を判定する方法がない以上は、安全対策として温存に努めるべきであると考えられる⁶⁰⁾。髄芽腫の摘出術において第四脳室底の神経核を損傷することがある。髄芽腫の手術においては特に強調されるのが、まず腫瘍細胞が髄液を介して播種しないように綿片を用いて腫瘍を持ち上げること、脊髄くも膜下腔を覆う様に綿片を軽く詰めることである。また、髄液が過剰に流出すると、今度はテントと小脳上面の架橋静脈が牽引され出血を生じる可能性があるため、中脳水道に軽く栓をしておくことも安全面では重要なテクニックである⁶²⁾。髄芽腫は第四脳室底に浸潤していることも多いが、第四脳室底を損傷すると部位によって第V、VI、VII、X、XII脳神経や眼振、同側顔面の発汗障害が出現することがある⁶³⁾。特に脳神経核の損傷は永続的後遺障害を残すことになりやすく、髄芽腫は放射線治療に良く反応するため、必ずしも全摘出にこだわらなくとも良いとする立場から、腫瘍と脳室底との癒着が強い場合は1-2ミリ程度の厚さで腫瘍を残す方が良いとされる。また止血も同部ではバイポーラーを用いることを極力避けて、綿片を軽くあてがって辛抱強く待つ必要がある⁶²⁾。今後は、脳幹部マッピングを用いて脳幹における運動性神経核の位置同定を行いながら、より安全に摘出術を計画することが必要になると予想される⁶⁴⁾。腫瘍摘出中に遠隔部の出血を生じることがある。遠隔部の出血は腫瘍の手術に限った合併症ではないが、原因の一つとして過度の髄液排出が考えられており、古くから内視鏡手術やシャント手術に伴った急性硬膜外血腫は、特に頭蓋骨と硬膜の癒着が強くない小児で報告が散見さ