頭蓋底髄膜腫に対する集学的治療と今後の可能性

鰐淵 昌彦

大阪医科大学脳神経外科学教室

Multimodality Treatment for Skull Base Meningioma and Consideration of Future Possibilities

Masahiko Wanibuchi, M.D., Ph.D.

Department of Neurosurgery, Osaka Medical College

Skull base meningioma is characterized as a deep-seated compression of the cranial nerves and vessels, with brainstem edema in some cases. Appropriate techniques such as surgical resection, stereotactic radiosurgery/radiotherapy (SRS/SRT), or multimodality treatment combined with resection and radiation should be considered for skull base meningioma. Total resection is the gold standard treatment; however, precise SRS/SRT treatment is appropriate for aged patients when surgical resection of the tumor is contraindicated. Subtotal resection followed by SRS/SRT is also an useful strategy. Boron neutron capture therapy and particle therapy are new treatments that may become available in the near future.

(Received May 26, 2020 ; accepted June 11, 2020)

Key words : skull base meningioma, multimodality treatment, surgery, stereotactic radiosurgery, boron neutron capture therapy

Jpn J Neurosurg (Tokyo) 29 : 553-559, 2020

はじめに

頭蓋底髄膜腫は髄膜腫の25~30%を占めており、多くの要因を考慮して治療戦略を立案する必要がある。患者要因としては、年齢、performance status、合併疾患、治療の希望、腫瘍要因としては、大きさ、grade、増大速度、発生部位、症状の有無などがある。さらに、再発・再増大時には治療関連要因として、初回治療の方法、摘出度や治療後の神経症状を考慮しなければならない。

頭蓋底髄膜腫の特徴は大きく分けて3つ、脳の深部に発生していること、腫瘍周囲には脳神経や動静脈が圧排されていること、脳幹浮腫がみられる症例が存在することである。1つ目の発生部位が深いということは、術野

の展開が困難という問題につながる。さらに病変へ到達する際に骨隆起が術野展開の妨げとなっており、削るべき骨隆起の周囲には重要な構造物が存在していることも問題であり、できるだけ広く浅い術野を確保するのが頭蓋底手術の本質である。2つ目の脳神経と動静脈は、腫瘍により圧排され、ときに神経や血管が腫瘍内部を貫通していることが問題である。これは手術のみならず、放射線照射を検討する際にも重要事項となる。3つ目の浮腫は、髄膜腫により軟膜が障害された場合に出現し、後頭蓋窩の頭蓋底に発生した腫瘍では、脳幹のみならず小脳脚にも浮腫がみられることがある。このような症例では腫瘍を全摘出すると脳幹や小脳脚に梗塞が出現する場合があるので、重要な検討要件となる。

連絡先：鰐淵昌彦，〒569-8686 大阪府高槻市大学町2-7 大阪医科大学脳神経外科学教室

Address reprint requests to : Masahiko Wanibuchi, M.D., Ph.D., Department of Neurosurgery, Osaka Medical College, 2-7 Daigaku-machi, Takatsuki-shi, Osaka 569-8686, Japan

本稿では頭蓋底髄膜腫の治療戦略と集学的治療、ならびに今後期待される治療について論じる。

髄膜腫に対する治療戦略

髄膜腫全般の治療戦略に関しては、National Comprehensive Cancer Network (NCCN) のガイドライン、Central Nervous System Cancers version 2. 2020 にまとめられている。小さく無症候性のものは経過観察、治療が必要で到達可能なものでは手術を第一選択とし、要因によっては放射線照射も考慮する。摘出後の方針として、grade I の場合は経過観察とするか、症状が持続するものには放射線治療を施行、grade II で完全に摘出された場合は放射線治療を考慮、grade II で不完全摘出に終わったものは放射線治療を施行、grade III では術後に放射線治療を施行するとされている。しかし、高悪性度髄膜腫に対する放射線照射の有効性については議論の余地がある。Grade II/III 髄膜腫に対する定位放射線手術 (stereotactic radiosurgery: SRS) に関して、19 文献 647 例を解析した論文では、grade II の腫瘍に対し辺縁線量 16~20 Gy, grade III の腫瘍には辺縁線量 18~22 Gy を照射し、5 年での無増大生存率 (progression free survival: PFS) が grade II で 25~83% (中央値 59%), grade III で 0~72% (中央値 13%), 合併症発生率が 0~62% (中央値 8%) であった⁵⁾。残存・再発した grade II/III 髄膜腫に対して SRS は一定の効果が期待できるが、有効性検証のためにはさらなる研究が必要であろう。

頭蓋底に発生した髄膜腫でも、頭蓋底手術手技や内視鏡下経鼻手術を用いることで到達できない部位はないため、基本的には非頭蓋底発生の髄膜腫と同様に、手術と定位放射線照射〔単回照射である SRS または多分割照射である stereotactic radiotherapy (SRT)〕を併用した集学的治療も含めて方針を検討する。

① 初発頭蓋底髄膜腫

治療を考えるうえでは手術が第一選択である。頭蓋底に発生しているので、周囲の脳神経や動静脈、穿通枝との関係、脳幹浮腫などの状況により戦略を立て、症例に応じて放射線治療を選択する。手術では全摘出を目指す、必ずしも完遂できるとは限らないので、初回で全摘出が可能か、意図的に多段階手術を計画するのか、全摘出できなかった場合は放射線治療をどのタイミングで施行するのかなど、初回治療時より数年先を見据えて計画を立てる。

特に注意を要するのは、無症候性だが周囲の構造物を

圧排している腫瘍である。ある程度増大しても症状出現に至らない症例では、症状出現まで待っていると、全摘出可能な時期を失する可能性がある。また、腫瘍と脳幹の間に髄液腔が存在しているほうが摘出しやすいのは明らかであり、これが消失し脳幹に浮腫が出現すると、全摘出は危険である。一方、逆に無症候性のときに手術をして新規神経症状が出現する可能性もあるので、加療のタイミングについては悩むところである。進行性増大例に対しては手術を検討するという方針に異論はないが、増大しているが無症候のままである症例に対する治療介入時期については、患者ともよく相談する必要がある。

② 再発頭蓋底髄膜腫

再発時には手術または放射線治療を検討する。手術を選択する場合は、目的をはっきりさせる必要がある。可能であれば再手術でも全摘出を目指す。しかし、初回手術で周囲との癒着により腫瘍を残さざるを得なかった場合、再手術でも同部位は摘出できないので、放射線照射が必要となる。このような場合、再手術の目的は周囲構造物の減圧、組織型の確認となるので、照射前の減圧手術の必要性について放射線治療医と相談しておく。

手術

初回手術が大切である。手術のゴールは神経機能を温存した最大限の安全な摘出であり、基本的には腫瘍を全摘出する。しかし、意図的に腫瘍の残存を検討しなければならないことがあるので、亜全摘出または部分摘出にとどめ、その後に SRS または SRT を施行するというのも賢明な選択肢である。摘出後に SRS/SRT を予定している場合は、どの部分を摘出し、どの部分に照射するかなどを術前より決定しておく。脳幹や小脳脚に浮腫があり、意図的に二期の手術を計画する場合は、2 回目で摘出しようとしている腫瘍と正常組織との剥離面には初回手術時に触れないことが重要である。

頭蓋底手術手技の習得には、微小解剖の熟知と cadaver dissection training が必要である。骨削除にはドリルと超音波骨削除器がある。ドリルは周囲構造物の機械的損傷や熱損傷に注意するのはもちろんのこと、周囲の綿を巻き込むこともあるので、ドリルは先端のみではなく、シャフトにも気をつけて操作する。超音波骨削除器はドリルに比較して機械的損傷の危険は少ないが、摩擦を利用して骨削除していくために、熱損傷の危険はドリルよりも高い²⁰⁾。よって、超音波骨削除器を使用する際には筆でなぞるように動かし、大量の水を使用して削

除面を冷却しながら操作をすることが重要である。

手術では適切なアプローチを選択し、術野展開時に死角となる部位が生じないように、場合によっては開頭と経鼻など複数のアプローチを組み合わせる。頭蓋底へのアプローチは、anterior, anterolateral, lateral, posterolateral, posterior の5部位に大別されていたが²⁴⁾、近年はこれに ventral skull base を加えて6方向からのアプローチを検討する。ventral skull base では経鼻内視鏡手術の適応が拡大されてきており、下垂体部や斜台部腫瘍のみならず、前頭蓋底から鞍結節部などの髄膜腫もよい適応となってきた¹³⁾¹⁴⁾。

治療困難な頭蓋底髄膜腫の治療方針 —海綿静脈洞髄膜腫—

頭蓋底髄膜腫で腫瘍を形成する場合、多くは手術の対象となるが、海綿静脈洞髄膜腫 (cavernous sinus meningioma: CSM) は手術が必ずしも第一選択にはならない。理由として、腫瘍が神経や内頸動脈へ強く癒着、または浸潤しているために、積極的に摘出した場合の手術成績が悪いことが挙げられる⁴⁾⁹⁾¹¹⁾¹⁸⁾。CSM に対する SRS/SRT については、辺縁線量中央値 13 Gy でガンマナイフ治療 (gamma knife surgery: GKS) を施行した 200 例の治療成績として、101 カ月の経過観察で腫瘍縮小 61%、不変 25%、増大 15% と報告されている¹⁶⁾。この中で初回治療として GKS を施行した 120 例に絞ると、1, 5, 10, 15 年での腫瘍コントロール率は 98%, 93%, 85%, 85% と良好であった。別の報告では、CSM に対する SRS/SRT で、三叉神経症状は 54%、外眼筋症状は 45% で改善がみられ、GKS 施行後の症例では視機能は 21% で改善していた¹²⁾。したがって、SRS/SRT は、腫瘍コントロール率が高く、神経症状の改善が期待できる有用な治療である。

しかし、CSM で大きい腫瘍の場合は、減圧手術も考慮される³⁾⁶⁾¹⁵⁾。SRS を大きな CSM に施行すると、脳神経症状の出現頻度や合併症発生率が高く、さらに SRS 施行前に手術で神経症状が出現した症例では、症状改善率が悪かった¹⁶⁾。よって、大きな CSM では洞外進展部分を摘出し、場合によっては神経症状を出さないよう洞内腫瘍を減圧してから、SRS/SRT を施行するという方法も有用である。画像を詳細に読影すると、海綿静脈洞外側壁の硬膜が認識される場合には、海綿静脈洞の内外を認識して加療を検討しなければならない (Fig. 1, 2)。

CSM の注意点は、悪性転化例である。Grade I で洞外をほぼ全摘出し、残存部に SRS/SRT を追加しても、比

較的短期間で増大を繰り返し、悪性転化して鼻腔、副鼻腔、側頭下窩へも進展していく症例が存在する。腫瘍の大きさに比して performance status が保たれていることが多いため、生命予後延長を目的に、high flow bypass を併用して内頸動脈とともに再発悪性 CSM を全摘出するという方法も報告されている²³⁾。しかし、肉眼的全摘出が根治を意味するわけではないので、performance status を維持しながら生活できる期間を延長する治療である点に留意すべきである。

放射線治療

高齢者や摘出困難な髄膜腫に対して、放射線照射はよい適応である。近年の定位的照射は、より高精度になってきている。摘出困難なものとしては、前述の CSM 以外に頭蓋底びまん性髄膜腫がある (Fig. 3)。症候性頭蓋底髄膜腫に対する SRS は 58 カ月の経過観察期間で、腫瘍コントロール率 93.5%、PFS は 1, 5, 10 年おのおの 98.7%, 93.7%, 86.4% であり、脳神経症状改善例は 46.5% であった⁸⁾。大きな頭蓋底髄膜腫に対する GKS では、照射後の腫瘍増大に関与する因子として、第Ⅲ～Ⅵ脳神経の症状、腫瘍体積 14 cm³以上が挙げられている¹⁹⁾。よって、頭蓋底髄膜腫に対する SRS/SRT では、体積が小さく、外眼筋麻痺出現前では治療効果が高いと考えられる。

SRS と SRT のどちらがよいかについては、一概にはいえない。Grade I の髄膜腫に対する SRS と SRT について、28 文献、SRS 2,699 例と SRT 984 例を比較したものでは、腫瘍縮小率は SRS 46.2%、SRT 28.9% と SRS のほうが高かったが、腫瘍コントロール率は SRS 93.1%、SRT 91.8% と同等であった¹⁾。Grade II/Ⅲ髄膜腫でも SRS と SRT は効果が同等であった¹⁷⁾。CSM に対する SRS (GKS, Linac-based) 2,397 例と SRT 420 例を比較したメタ解析で、腫瘍縮小効果は SRS 52.5%、SRT 20% と SRS のほうが 2.5 倍高かったが、腫瘍増大抑制率は SRT 74%、SRS 45% で SRT のほうが高く、再発や増大率は 3~5.8% で各治療間による差はなかった¹²⁾。以上より、腫瘍縮小効果は SRS のほうが優れているが、腫瘍コントロール率は SRS と SRT は同等、もしくは SRT のほうが優れているので、SRS と SRT のどちらを選択するべきかについては、今後さらなる症例の積み重ねが必要であろう。

内科的治療

頭蓋底発生か否かにかかわらず、髄膜腫に対して有効

Fig. 1 Cavernous sinus meningioma of the left side

Preoperative contrast enhanced T1- weighted images (WI) demonstrate a cavernous sinus tumor (A, axial view ; B, coronal view). The extracavernous portion is compressing the temporal lobe with edema. The lateral wall of the cavernous sinus is obscured by the enhanced T1-WI. However, a preoperative T2-WI clearly shows the lateral wall (arrows) of the cavernous sinus (C, axial view ; D, coronal view). A postoperative T2-WI demonstrates the resection of the extracavernous portion of the tumor previously causing edema in the temporal lobe (E, axial view ; F, coronal view).

といえる薬剤はない。NCCN ガイドライン version 2. 2020 で category 2B に分類されているものは、スニチニブ〔platelet-derived growth factor 受容体や vascular endothelial growth factor (VEGF) 受容体などを標的とした multi-targeted receptor tyrosine kinase inhibitor〕、ベバシズマブ (VEGF に対するモノクローナル抗体) とエベロリムス (mammalian target of rapamycin 阻害剤) の併用であり、一部の症例ではソマトスタチンアナログも有用性

が示唆されている。今後の研究が期待される。

今後期待される治療

① Boron neutron capture therapy (BNCT)

2006 年に grade III の髄膜腫に対して BNCT が有用であったと症例報告された²²⁾。2013 年には 20 例の grade II/III 髄膜腫に対する BNCT の成績として、治療後 2 カ

Fig. 2 Cavernous sinus meningioma after fractionated radiotherapy

A postoperative contrast-enhanced T1-WI demonstrates that the tumor remains in the cavernous sinus with a small extension toward the posterior fossa (A, axial view ; B, coronal view). Intensity-modulated radiation therapy (IMRT) with 50.4 Gy/28 fractions is applied to the residual tumor. A contrast enhanced T1-WI obtained 7.5 years after the IMRT shows decreased tumor growth (C, axial view ; D, coronal view).

Fig. 3 Diffuse central skull base meningioma

A 63-year-old woman visited a neurosurgical hospital with a chief complaint of headache. As magnetic resonance imaging (MRI) demonstrated a diffuse skull base tumor (A), an endoscopic endonasal biopsy was performed to confirm the lesion pathology. A histopathological examination revealed a meningothelial meningioma with an MIB-1 index of 3%. A course observation with close follow-up by MRI was selected. When the hearing on her right side deteriorated 4 years after the biopsy, examination revealed that the right side of the tumor had gradually enlarged (B). IMRT with 48 Gy/24 fractions was applied to the tumor, and MRI performed 2 years later revealed a decrease in tumor size (C). Subsequently, the patient's hearing has been maintained.

月で64.5%の腫瘍縮小が得られ、症候例では神経症状の改善が得られた¹⁰⁾。2018年には頭蓋底のgrade II/III髄膜腫に対する有効性も示され²¹⁾、現在、関西BNCT共同医療センターにおいて再発高悪性度髄膜腫に対するBNCTの医師主導治験が行われている。手術・放射線治療後の再発grade II/III髄膜腫に対する有効な治療法は確立されていないので、次世代治療として結果に期待したい。

② 粒子線治療

光子線（X線、ガンマ線）以外に、陽子線や炭素イオン線を用いた粒子線治療も期待される。110例の頭蓋底髄膜腫（grade I 60例、grade II 7例、grade III 1例、非手術例のため組織型不明42例）に対して、陽子線治療を104例、炭素イオン線治療を6例に施行し、grade Iでの5年PFSは96.6%、grade II/IIIのものでは75%、重大な合併症はみられなかった⁷⁾。また、70例の髄膜腫（頭蓋底発生24%、grade I 43%、grade II 33%、grade III 6%、組織不明18%）に対して、陽子線治療を38例、炭素イオン線治療を26例に施行した報告では、grade Iに対し陽子線52.2～57.6 Gy、grade II/IIIに対してはこれに炭素イオン線18 Gyを追加し、grade Iでは腫瘍増大コントロール率は100%、grade II/IIIでの再発率は19%であった²⁾。今後の症例蓄積が待たれるが、粒子線治療も効果が期待できるであろう。

結 語

頭蓋底髄膜腫に対して経過観察は重要な選択肢の1つであるが、治療介入時期を見極めて適切に加療することが重要である。手術は治療の第一選択であり初回で全摘出を目指すべきである。しかし、種々の要因も検討してSRS/SRTの施行や、手術と組み合わせた集学的治療も考慮する。手術とSRS/SRTを併用した治療後でも再発する症例があるので、今後はBNCTや粒子線治療にも期待が集まっている。

文 献

- 1) Chung LK, Mathur I, Lagman C, Bui TT, Lee SJ, Voth BL, Chen CHJ, Barnette NE, Spasic M, Pouratian N, Lee P, Selch M, Chin R, Kaprelian T, Gopen Q, Yang I : Stereotactic radiosurgery versus fractionated stereotactic radiotherapy in benign meningioma. *J Clin Neurosci* **36** : 1-5, 2017.
- 2) Combs SE, Welzel T, Habermehl D, Rieken S, Dittmar JO, Kessel K, Jäkel O, Haberkorn U, Debus J : Prospective evaluation of early treatment outcome in patients with meningiomas treated with particle therapy based on target volume

definition with MRI and 68Ga-DOTATOC-PET. *Acta Oncol* **52** : 514-520, 2013.

- 3) Couldwell WT, Kan P, Liu JK, Apfelbaum RI : Decompression of cavernous sinus meningioma for preservation and improvement of cranial nerve function. Technical note. *J Neurosurg* **105** : 148-152, 2006.
- 4) DeMonte F, Smith HK, Al-Mefty O : Outcome of aggressive removal of cavernous sinus meningiomas. *J Neurosurg* **81** : 245-251, 1994.
- 5) Ding D, Starke RM, Hantzmon J, Yen CP, Williams BJ, Sheehan JP : The role of radiosurgery in the management of WHO Grade II and III intracranial meningiomas. *Neurosurg Focus* **35** : E16, 2013.
- 6) Dufour H, Muracciole X, Metellus P, Regis J, Chinot O, Grisoli F : Long-term tumor control and functional outcome in patients with cavernous sinus meningiomas treated by radiotherapy with or without previous surgery : is there an alternative to aggressive tumor removal? *Neurosurgery* **48** : 285-294 ; discussion 294-296, 2001.
- 7) El Shafie RA, Czech M, Kessel KA, Habermehl D, Weber D, Rieken S, Bougatf N, Jäkel O, Debus J, Combs SE : Clinical outcome after particle therapy for meningiomas of the skull base : toxicity and local control in patients treated with active rasterscanning. *Radiat Oncol* **13** : 54, 2018.
- 8) Faramand A, Kano H, Niranjana A, Johnson SA, Hassib M, Park KJ, Arai Y, Flickinger JC, Lunsford LD : Cranial nerve outcomes after primary stereotactic radiosurgery for symptomatic skull base meningiomas. *J Neurooncol* **139** : 341-348, 2018.
- 9) Fatima N, Ding VY, Han SS, Chang SD, Meola A : Predictors of visual functional outcome following treatment for cavernous sinus meningioma. *J Neurosurg* : 1-12, 2020. [Epub ahead of print]
- 10) Kawabata S, Hiramatsu R, Kuroiwa T, Ono K, Miyatake S : Boron neutron capture therapy for recurrent high-grade meningiomas. *J Neurosurg* **119** : 837-844, 2013.
- 11) Larson JJ, van Loveren HR, Balko MG, Tew JM Jr : Evidence of meningioma infiltration into cranial nerves : clinical implications for cavernous sinus meningiomas. *J Neurosurg* **83** : 596-599, 1995.
- 12) Leroy HA, Tuleasca C, Reynolds N, Levivier M : Radiosurgery and fractionated radiotherapy for cavernous sinus meningioma : a systematic review and meta-analysis. *Acta Neurochir (Wien)* **160** : 2367-2378, 2018.
- 13) Magill ST, Morshed RA, Lucas CG, Aghi MK, Theodosopoulos PV, Berger MS, de Divitiis O, Solari D, Cappabianca P, Cavallo LM, McDermott MW : Tuberculum sellae meningiomas : grading scale to assess surgical outcomes using the transcranial versus transsphenoidal approach. *Neurosurg Focus* **44** : E9, 2018.
- 14) Makarenko S, Carreras EM, Akagami R : Craniotomy for perisellar meningiomas : comparison of simple (appropriate for endoscopic approach) versus complex anatomy and surgical outcomes. *J Neurosurg* **126** : 1191-1200, 2017.
- 15) Morisako H, Goto T, Ohata H, Goudihalli SR, Shirotsuka K, Ohata K : Safe maximal resection of primary cavernous sinus meningiomas via a minimal anterior and posterior combined transpetrosal approach. *Neurosurg Focus* **44** : E11, 2018.
- 16) Park KJ, Kano H, Iyer A, Liu X, Tonetti DA, Lebecky C, Faramand A, Niranjana A, Flickinger JC, Kondziolka D, Lunsford LD : Gamma Knife stereotactic radiosurgery for cavernous

- sinus meningioma : long-term follow-up in 200 patients. *J Neurosurg* **130** : 1789-2097, 2019.
- 17) Prasad RN, Breneman JC, Struve T, Warnick RE, Pater LE : Linac-based fractionated stereotactic radiosurgery for high-risk meningioma. *J Radiosurg SBRT* **5** : 269-276, 2018.
 - 18) Sen C, Hague K : Meningiomas involving the cavernous sinus : histological factors affecting the degree of resection. *J Neurosurg* **87** : 535-543, 1997.
 - 19) Starke RM, Przybylowski CJ, Sugoto M, Fezeu F, Awad AJ, Ding D, Nguyen JH, Sheehan JP : Gamma knife radiosurgery of large skull base meningiomas. *J Neurosurg* **122** : 363-372, 2015
 - 20) Suzuki K, Wanibuchi M, Minamida Y, Akiyama Y, Mikami T, Fujishige M, Yamamura A, Nakagawa T, Mikuni N : Heat generation by ultrasonic bone curette comparing with high-speed drill. *Acta Neurochir (Wien)* **160** : 721-725, 2018.
 - 21) Takeuchi K, Kawabata S, Hiramatsu R, Matsushita Y, Tanaka H, Sakurai Y, Suzuki M, Ono K, Miyatake S, Kuroiwa T : Boron neutron capture therapy for high-grade skull-base meningioma. *J Neurol Surg B Skull Base* **79** (Suppl 4) : S322-S327, 2018.
 - 22) Tamura Y, Miyatake S, Nonoguchi N, Miyata S, Yokoyama K, Doi A, Kuroiwa T, Asada M, Tanabe H, Ono K : Boron neutron capture therapy for recurrent malignant meningioma. Case report. *J Neurosurg* **105** : 898-903, 2006.
 - 23) Wanibuchi M, Akiyama Y, Mikami T, Iihoshi S, Miyata K, Horita Y, Sugino T, Komatsu K, Suzuki K, Yamashita K, Mikuni N : Radical removal of recurrent malignant meningeal tumors of the cavernous sinus in combination with high-flow bypass. *World Neurosurg* **83** : 424-430, 2015.
 - 24) Wanibuchi M, Friedman AH, Fukushima T : *Photo Atlas of Skull Base Dissection*. New York, Thieme, 2009.

要 旨

頭蓋底髄膜腫に対する集学的治療と今後の可能性

鰐淵 昌彦

頭蓋底髄膜腫は、脳深部に発生していること、脳神経や動静脈が圧排されていること、脳幹浮腫例が存在することが特徴である。治療戦略立案にあたって、さまざまな要因を考慮しなければならないが、頭蓋底発生であっても到達できない部位はないため、基本的には非頭蓋底発生の髄膜腫と同様に、手術、放射線治療、またはこれらを組み合わせた集学的治療を行う。手術が第一選択であり、神経機能を温存した最大限の摘出を原則として全摘出を目指す。高精細な定位放射線治療の成績も良好であり、高齢者や摘出困難な髄膜腫に対してよい適応である。したがって、意図的に腫瘍を残存させ、その後に定位放射線治療を施行するというのも賢明な選択肢である。今後期待される治療としては、boron neutron capture therapy (BNCT) と粒子線治療であり、現在施行されている再発高悪性度髄膜腫に対する BNCT の医師主導治験の結果が待たれる。

脳外誌 29 : 553-559, 2020