

Mikrochirurgische Tumoroperationen in der modernen Neurochirurgie: Teil I – Das Meningeom

R. A. Kockro, O. D. Fabrig, Zentrum für MikroNeurochirurgie, Klinik Hirslanden, Zürich, Schweiz.

Die häufigsten ZNS-eigenen intrakraniellen Neubildungen sind die Gruppen der Meningeome und Gliome. Chirurgische Prinzipien der Therapie dieser beiden Tumorentitäten werden in dieser sowie der nächsten Ausgabe von JOURNAL ONKOLOGIE in 2 Teilen präsentiert. Teil I widmet sich der Gruppe der Meningeome. Diese stellen mit ca. 35% die häufigste Entität der ZNS-eigenen Tumoren dar. Werden Meningeome symptomatisch und/oder zeigt sich radiologisch eine Größenprogredienz, besteht meist die Indikation zur Therapie. Der Goldstandard ist in der Regel die chirurgische Resektion. Der folgende Artikel befasst sich mit den Grundsätzen der Meningeomtherapie und den Prinzipien der modernen mikrochirurgischen Tumorresektion. Dabei wird u.a. auf die präoperative Bildgebung und individuelle Operationsplanung im dreidimensionalen Raum sowie auf die Techniken und Methoden des minimal-invasiven Operierens eingegangen.

Überblick ZNS-Tumoren

Insgesamt machen ZNS-Tumoren etwa 1,4% aller neu diagnostizierten Tumorerkrankungen aus und sind für etwa 2,6% aller tumorassoziierten Todesfälle verantwortlich. Die häufigste intrazerebrale Neoplasie sind Metastasen [1-3]. Bei den ZNS-eigenen Tumoren dominieren die Meningeome (35%) und die Gruppe der Gliome, wobei bei letzterer mit einem Anteil von ca. 55% die Glioblastome (WHO-Grad IV) überwiegen. Weitere häufige Tumorentitäten sind Hypophysenadenome (ca. 10-14%) und Nervenscheidentumoren (ca. 8%) (Abb. 1) [1-3].

Die **mikrochirurgische Tumorresektion** ist bei den meisten ZNS-Tumoren die **zentrale Säule der Therapie** – entweder mit Blick auf vollständige Tumorentfernung oder größtmögliche Zytoreduktion. Meningeome, Hypophysenadenome oder Vestibularisschwannome können oft mit einer Operation vollständig entfernt und damit geheilt werden. Bei Gliomen und insbesondere Glioblastomen korreliert die Prognose direkt mit dem Ausmaß der Tumorresektion [4, 5]. Ob ein Tumor überhaupt therapiert werden muss oder ob es möglich ist, diesen zunächst zu beobachten, wird in modernen Einrichtungen stets interdisziplinär entschieden. Dies gilt auch für das

Festlegen einer möglicherweise multimodalen Therapie, d.h. das Zusammenwirken von chirurgischer Tumorresektion, Bestrahlung oder Chemotherapie.

Belegbare Berichte über erste Tumoroperationen in der kranialen Neurochirurgie gehen zurück bis ins Jahr 1879, als William Macewen bei einer jungen Frau einen Tumor der *Dura mater* resezierte – am wahrscheinlichsten handelte es sich dabei um ein Meningeom. 5 Jahre später, 1884, gelang es Rickman J. Godlee, erstmalig einen intraaxialen hirneigenen Tumor zu entfernen. Im Verlauf der folgenden Jahrzehnte profitierte die onkologische Neurochirurgie enorm von der fortschreitenden technischen Entwicklung zur optisch verbesserten Darstellung des Operationsfeldes. Entscheidende Rollen spielten dabei u.a. Harvey W. Cushing und M. Gazi Yaşargil, der mit der Einführung des Operationsmikroskops der Wegbereiter der modernen Neurochirurgie war [6-9]. Weitere technische Verfeinerungen wie die Einführung der Navigation und des Endoskops erlaubten es, die operativen Zugänge zu verkleinern und Tumoren präziser zu reseziieren.

Präoperativ steht die hochauflösende Bildgebung im Zentrum, sowohl im Hinblick auf die Tumorstrukturen als auch auf die Anatomie und Funktionen des an den Tumor angrenzenden Gewebes

(MRI, f-MRI, CT, PET). Mit Hilfe von 3D-Simulationen wird eine punktgenaue Operationsplanung durchgeführt.

Während der Operation kommen moderne Mikroinstrumente zum Einsatz, mit denen es unter mikroskopischer und endoskopischer Sicht möglich ist, auch feine Tumorstrukturen zu präparieren und zu entfernen. Dreidimensionale Navigationssysteme zeigen dabei den Weg. Bei Bedarf ermöglicht es die intraoperative Bildgebung, das chirurgische Zielgebiet in Echtzeit darzustellen, um somit den Fortgang einer Operation zu präzisieren (intraoperatives MRI (magnetic resonance imaging), Computertomographie (CT) und Ultraschall). Die Funktion von Hirngewebe, welches möglicherweise im Zugangsweg oder in der Nachbarschaft des Tumors liegt, wird mithilfe von elektrophysiologischen Messmethoden unter Anwesenheit eines Neurologen im Operationssaal überwacht. Bei Operationen in der Nähe der Sprachzentren besteht die Möglichkeit, unter Lokalanästhesie, d.h. im Wachzustand der Patientin/des Patienten zu operieren. Das Zusammenspiel aller Technologien und Methoden ermöglicht ein **höchstes Maß an chirurgischer Präzision und Sicherheit**.

Im Folgenden sowie in der nächsten Ausgabe werden wir in den Teilen I und

II die neurochirurgischen Techniken der häufigsten intra- und extraaxialen ZNS-eigenen Tumoren darstellen: das Meningeom und die Gruppe der Gliome.

Meningeome

Meningeome sind meistens WHO-Grad-I-Tumoren, die der *Arachnoidea mater* entspringen. Zwischen 5-20% werden als atypische Meningeome dem WHO-Grad II zugeordnet, etwa 1-3% dem WHO-Grad III. Mit einem Anteil von etwa 35% und einer Inzidenz von ca. 7,6/100.000 sind Meningeome die häufigsten intrakraniellen ZNS-eigenen Tumoren. Dabei zeigt sich eine signifikante Korrelation der Meningeomdiagnosen mit steigendem Alter der Patient:innen. Frauen sind – je nach Studienkollektiv – etwa 2-3x häufiger von Meningeomen betroffen als Männer. Darüber hinaus finden sich im Vergleich zwischen der afroamerikanischen und kaukasischen Bevölkerung in den USA im afroamerikanischen Kollektiv 20% häufiger Meningeome [1, 3, 10].

Häufig werden die Tumoren inzidental festgestellt. Im Rahmen der allgemein steigenden Anzahl von CT- oder Magnetresonanztomographie (MRT)-Untersuchungen kommen auch Meningeome heutzutage zunehmend häufiger zum Vorschein. In einer großen **Autopsie-Studie** waren **85% aller entdeckten Meningeome asymptomatisch** bei einer allgemeinen Prävalenz von ca. 2% [3, 10, 11]. Asymptomatische Meningeome zeigen

in fast zwei Drittel der Fälle kein Wachstum und entwickeln nur in 6% der Fälle im weiteren Verlauf Symptome [12], weshalb nicht immer eine Therapie notwendig wird. Eine Therapieindikation besteht in der Regel im Falle von Symptomen und/oder einer in der Bildgebung dokumentierten Tumorprogression [3, 10-12].

Symptome

Die Symptome von intrakraniellen Meningeomen können vielfältig sein und sind in erster Linie von der Tumorgroße, Lokalisation und ggf. vom Ausmaß eines perifokalen Ödems abhängig. Konvexitätsmeningeome können je nach Lagebeziehung zum darunterliegenden Cortex zu kontralateralen Paresen, Sensibilitätsstörungen, Sehstörungen, Sprachstörungen oder epileptischen Anfällen führen. Schädelbasismeningeome können je nach individueller Lage zu Hirnnervenausfällen und damit zu Seh-, Augenbewegungs-, Riech-, Hör-, Gleichgewichts-, Schluck- oder Sprachstörungen sowie zu Gesichtsschmerzen führen. Große frontal oder frontobasal gelegene Meningeome können zu einem Frontalhirnsyndrom mit veränderter Persönlichkeitsstruktur führen. Infratentorielle Meningeome mit Druck auf das Kleinhirn können Gleichgewichts- oder Koordinationsstörungen nach sich ziehen. Im Bereich des kraniozervikalen Übergangs kann der Druck auf den Hirnstamm zu einer Reihe von sensomotorischen Ausfällen bis hin zu Atemlähmungen führen. Im Falle eines Wachstums am oder im *Sinus*

Nachlese

Spezielle neurochirurgische Aspekte bei kindlichen Hirntumoren
www.med4u.org/21493

Glioblastom: Immuntherapie bei Hypermutationen und klinische Relevanz von Methylierungssubtypen
www.med4u.org/21494

Diagnostik und Therapie des neu diagnostizierten Glioblastoms – CME-Test Teil 1
www.med4u.org/21495

Intrakranielle Wirksamkeit der medikamentösen Tumortherapie bei Hirnmetastasen – CME-Test Teil 2
www.med4u.org/21496

Herausforderungen in der Chirurgie von Hirntumoren, -metastasen sowie Schädelbasistumoren – CME-Test Teil 3
www.med4u.org/21497

sagittalis, *Sinus transversus* oder *Sinus sigmoideus* besteht die Gefahr von Sinusvenenthrombosen. Im Allgemeinen können Meningeome durch Reizungen der Hirnhäute Kopfschmerzen hervorrufen. Bei großen Meningeomen, v.a. mit kräftigem perifokalem Ödem, kann sich eine Hirndrucksymptomatik mit Übelkeit, Erbrechen und Vigilanzminderung entwickeln [10, 13].

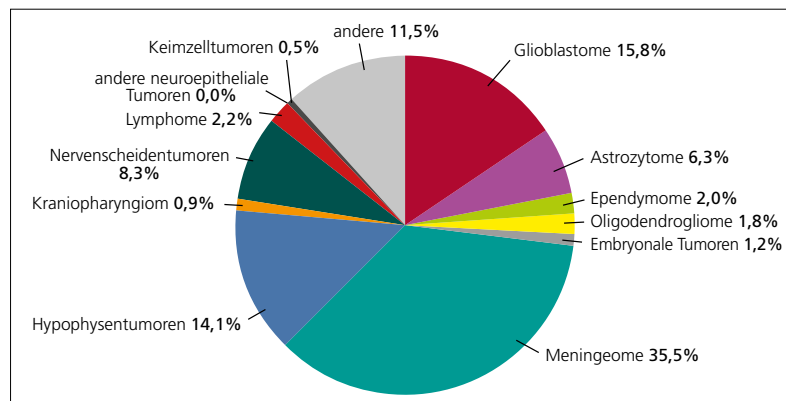


Abb. 1: Verteilung der ZNS-eigenen Hirntumoren nach histologischer Entität (mod. nach [1]).

Diagnostik und OP-Planung

Die Bildgebung ist die Grundlage der mikrochirurgischen Tumorresektion. Im Kontrastmittel-angehobenen MRI mit MR-angiographischen Sequenzen lassen sich Meningeome sehr gut von benachbartem Gewebe abgrenzen, insbesondere von arteriellen und venösen Strukturen sowie von Hirnnerven. Bei Meningeomen an der Schädelbasis zeigt die CT bei dreidimensionaler Fusionierung mit dem MRI die exakten räumlichen knöchernen Verhältnisse und damit wird die manchmal erforderliche Abtragung von knöchernen



Strukturen sehr präzise planbar. Die vollständig fusionierten multimodalen Bilddaten können in einem dreidimensionalen Simulator zur detailgetreuen Operationsplanung verwendet werden [14-17].

Bei großen Meningeomen, insbesondere wenn sie im MRI gut durchblutet erscheinen, ist eine Katheterangiographie sinnvoll, um vor der Operation die Blutversorgung exakt zu verstehen. In einigen Fällen ist es möglich, große, in den Tumor führende **Blutgefäße angiographisch zu embolisieren**, um damit die mikrochirurgische Resektion zu erleichtern [18, 19]. Es konnte gezeigt werden, dass die präoperative Embolisation einerseits das operative Blutungsrisiko senkt und andererseits die Wahrscheinlichkeit einer Komplettresektion erhöht [20-22]. Außerdem gibt es Hinweise, dass durch die präoperative Embolisation eine Verbesserung des postoperativen mRS (modifizierte Rankin-Skala)-Scores erreicht werden kann [23]. Im Idealfall sollte die Embolisation in einem kurzen Intervall von wenigen Tagen vor der Operation stattfinden [18, 19, 22-26].

Die detaillierte präoperative Bildgebung dient in der modernen Neurochirurgie nicht nur zur Planung, sondern auch zur **intraoperativen Navigation**. Dies geschieht durch die räumliche Fusionierung der dreidimensional rekonstruierten MRI- und CT-Bildserien mit der Oberfläche des Kopfs der Patientin/des Patienten. Während der Operation ist es dann möglich, die Positionen der Instrumentenspitzen exakt auf der Bildgebung zu identifizieren und damit auch Strukturen jenseits der sichtbaren Operationshöhle zu antizipieren. Die Navigation erlaubt die exakte Definition des Hautschnitts und der Knochenöffnung, womit das Risiko von zugangsbedingten Komplikationen reduziert werden kann [27].

Allgemeine Prinzipien der Meningeomchirurgie

Meningeome gehen von arachnoidalen Kappenzellen aus, welche die äußere Schicht der *Arachnoidea* bilden. Beim fortschreitenden Tumorstadium bleibt daher in der Regel der

subarachnoidale Raum zwischen dem Meningeom und der Gehirnoberfläche erhalten. Die Blutversorgung des Meningeoms erfolgt in erster Linie durch meningeale Arterien im Bereich des duralen Ansatzes, der „Tumorstamm“, aber auch durch kleinere piale Gefäße, die durch den subarachnoidalen Raum in das Meningeom ziehen. Bei der mikrochirurgischen Tumoresektion sind diese anatomischen Merkmale von großer Bedeutung. Die Resektion wird in der Regel damit begonnen, die zuführenden Blutgefäße im Bereich der meningealen Ansatzstelle durch Koagulation zu unterbinden. Anschließend ist es wichtig, den subarachnoidalen Raum, der gelegentlich sehr schmal sein kann, an der Oberfläche des Tumors zu identifizieren, um diesen dann entlang dieser Schicht Schritt für Schritt von den umliegenden neuronalen Strukturen frei zu präparieren. Zur schonenden Aufweitung des subarachnoidalen Raums finden

Hirnwatten eine exzellente Anwendung und darüber hinaus gelingt es häufig, diese Schicht mit einem Wasserjet zu füllen und damit zu verbreitern. Kleinere Blutgefäße, die in den Tumor ziehen, werden im Laufe dieser Präparation gezielt unterbunden. Das Tumorgewebe wird mit der bipolaren Pinzette geschrumpft und in mehreren Teilportionen sukzessive entfernt. Bei großen Tumoren kann es sinnvoll sein, den Tumor in Teilen von innen auszuhöhlen, um so das Präparieren an der äußeren Grenzschicht zu erleichtern. Dazu kommen gelegentlich Ultraschallaspiratoren zum Einsatz, die das Abtragen von etwas derberem Tumorgewebe, unter der Schonung von Blutgefäßen an der Grenzschicht, ermöglichen [28-33]. Soweit technisch und anatomisch möglich, wird die durale Ansatzstelle des Meningeoms ebenfalls reseziert und die Lücke wird mit einem Ersatzmaterial, welches in der Regel eingeklebt werden kann, wasserdicht gedeckt.

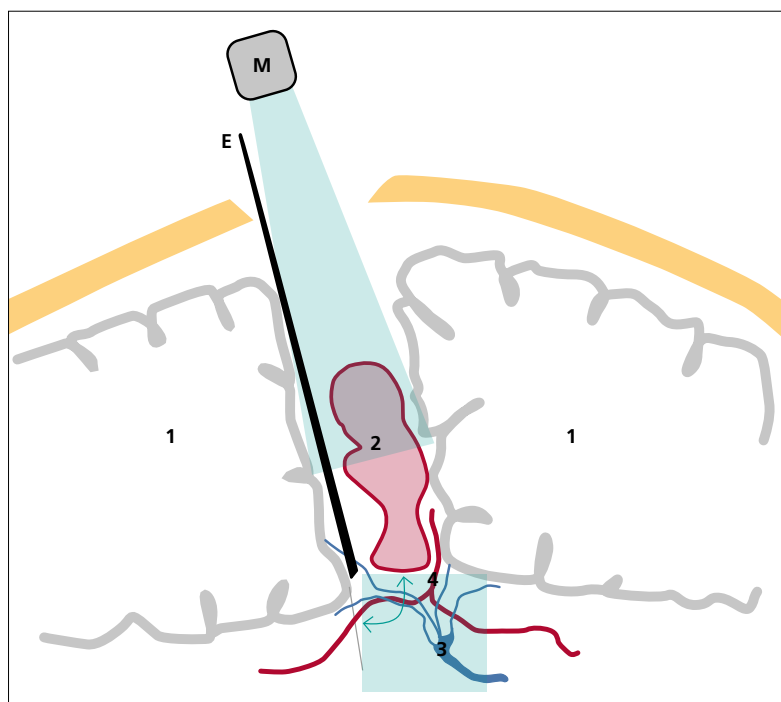


Abb. 2: Schematische Darstellung der endoskopisch-assistierten mikrochirurgischen Blickachse. Während die Blickachse des Mikroskops einen detaillierten Blick auf die Zielstruktur (2) ermöglicht, können wichtige anatomischen Strukturen (3, 4) verdeckt bleiben. Das Endoskop macht diese sichtbar. Ein sicheres Präparieren und Resizieren wird somit durch die kombinierte Anwendung von Mikroskop und Endoskop ermöglicht.

M=Mikroskop und Blickachse in grün; E=Endoskop und Blickachse in grün; 1=kortikale Strukturen; 2=Zielstruktur; 3 und 4=anatomische Strukturen, die hinter der Zielstruktur lokalisiert sind

Die Voraussetzung der mikrochirurgischen Tumorresektion ist das Operationsmikroskop, welches mit Hinblick auf Bildqualität, stereoskopische Tiefenschärfe, Illumination, ergonomische Handhabe und Integration in die Navigation deutlich weiterentwickelt wurde [34]. Im Bereich der Schädelbasis ist zusätzlich das Endoskop von großer Bedeutung, denn es erweitert die Sicht auf das Operationsgebiet und ermöglicht so den Zugang zu Regionen, die mit der geraden Blickachse des Mikroskops nicht einsehbar wären. Kombiniert mit der Verwendung von filigranen Rohrschaft-Instrumenten sind damit Kraniotomien von der Größe

eines Schlüsselochs in vielen Fällen möglich (Abb. 2).

Daneben finden allmählich die Exoskope Einzug in die Neurochirurgie, welche im Prinzip mit hochauflösenden stereoskopischen Videokameras arbeiten [35-39].

Konvexitätsmeningeome

Konvexitätsmeningeome können eine beträchtliche Größe entwickeln, bevor sie Symptome zeigen, insbesondere wenn sie nicht über funktionell bedeutenden Gehirnarealen liegen. Mithilfe der Navigation kann die Kraniotomie

exakt über dem Meningeom angelegt werden und in der Regel gelingt – den oben beschriebenen Prinzipien folgend – eine vollständige Entfernung mit samt der tumorinfiltrierten *Dura*. Tumorrezidive sind dann sehr selten.

Parasagittale und Falxmeningeome

Parasagittale Meningeome involvieren die Wand des *Sinus sagittalis superior* und können in diesen hineinwachsen, was, je nach Ausmaß, ein Hindernis des sinusoidalen Blutflusses bis hin zur kompletten Okklusion nach sich ziehen kann. Häufig bilden sich im

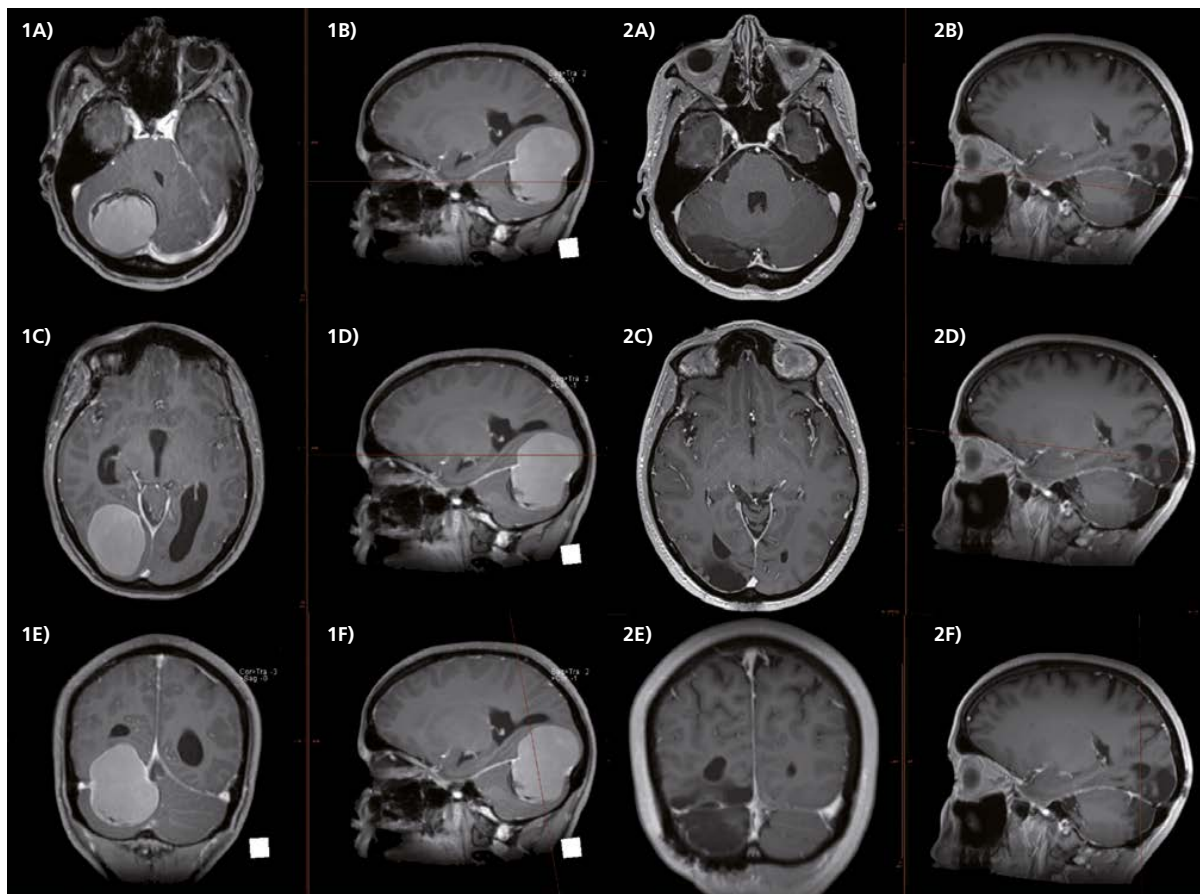


Abb. 3: Fallbeispiel 1. 1A)-1F) präoperative MRI-Schnittbildgebung eines ca. 5,3 x 4,5 x 4,6 cm messenden rechtsseitigen Tentoriummeningeoms. 2A)-2F) postoperative MRI-Schnittbildgebung. Eine 30-jährige Patientin stellte sich mit progredienten Kopfschmerzen occipital sowie mehrmaligem Erbrechen vor. Bei der Aufnahme war sie leicht somnolent, ansonsten kein fokales neurologisches Defizit. In der MRI-Diagnostik zeigte sich die oben beschriebene Raumforderung, a. e. einem Meningeom entsprechend. Das Meningeom wurde über einen kombinierten infra- und supratentoriellen Zugang in mikrochirurgischer Technik reseziert. Die Sehrinde im Occipitallappen wurde durch die Präparationsrichtung von infratentoriell vollkommen geschont. In den postoperativen MRI-Verlaufskontrollen zeigt sich kein Hinweis auf einen Tumorrest oder Tumorrezidiv. Die Patientin ist neurologisch beschwerdefrei. Die histopathologischen Untersuchungen ergaben ein fibröses Meningeom, WHO-Grad I.

Bereich dieser Sinusstenosen venöse Umgehungskreisläufe, die eng an der Meningeomoberfläche entlang ziehen können. Eine präzise präoperative Bildgebung mit MR-Venographie ist daher enorm wichtig, um die Operationsstrategie anhand der Gefäßarchitektur auszurichten. Kleinere Venen können möglicherweise verschlossen werden, aber die hauptleitenden Venen der Umgehungskreisläufe müssen intraoperativ erhalten werden, um eine totale Sinusstenose zu verhindern. Insbesondere im mittleren und hinteren Sinusdrittel können Stauungsinfarkte und dadurch hervorgerufene Blutungen zu relevanten neurologischen Defiziten führen. Die tiefer gelegenen Falxmeningeome können technisch elegant über einen interhemisphärischen Zugang erreicht werden. Auch hier ist eine exakte präoperative MR-Darstellung der Brückenvenen notwendig, um den geeigneten Korridor unter Schonung dieser Venen mit Hilfe der Neuronavigation anlegen zu können [10, 13].

Meningeome an der Schädelbasis

Schädelbasismeningeome – beispielsweise im Bereich des Keilbeinflügels, der Olfaktoriusrinne, des *Planum sphenoidale*, des *Tuberculum sellae* oder des petroklivalen Übergangs – machen etwa 30% aller Meningeome aus. Aufgrund der komplexen Anatomie der Schädelbasis bedingt durch Hirnnerven und arterielle und venöse Gefäße spielt die Wahl des Zugangs zum Zielgebiet und die Operationstechnik eine herausragende Rolle (siehe Fallbeispiel 2, Abb. 4 und 5).

Häufige chirurgische Korridore zur vorderen Schädelbasis sind die frontolaterale, bzw. pterionale und supraorbitale Kraniotomie, aber auch ein bifrontal-subfrontaler, interhemisphärischer oder transsphenoidaler Zugang kann je nach Tumorausdehnung zielführend sein. Die mittlere und hintere Schädelbasis wird durch subtemporale, transpetrosale und retrosigmoidale Kraniotomien oder eine Kombination dieser Korridore erreicht [19, 40-43]. Eine Übersicht der Schädelbasiszugänge, illustriert anhand von 3D-Computersimulationen, findet

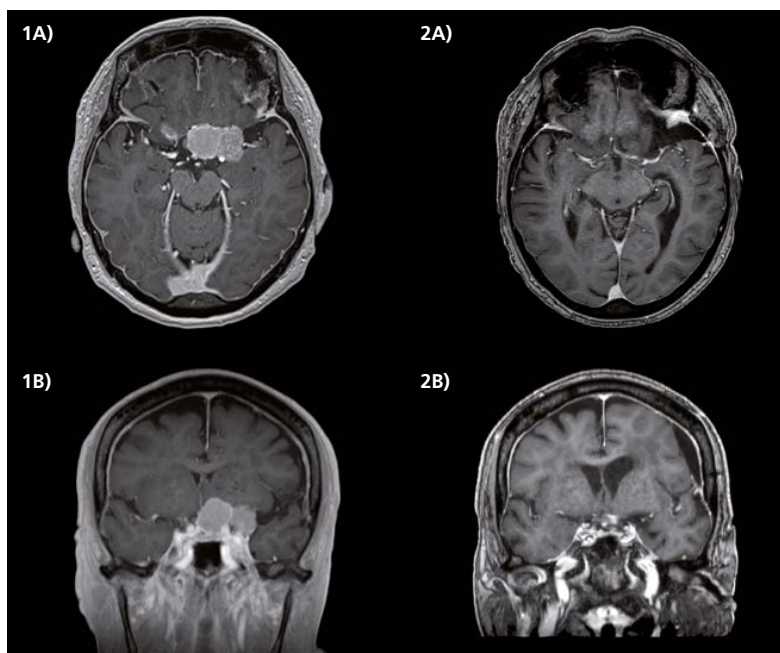


Abb. 4: Fallbeispiel 2. 1A)-1B) präoperative MRI-Schnittbildgebung eines ca. 2 x 2 x 3,5 cm messenden linksseitigen Schädelbasismeningeoms. 2A)-2B) postoperative MRI-Schnittbildgebung. Ein 82-jähriger Patient, der links eine deutlich, rechts eine diskret zunehmende Sehschwäche entwickelte. Im MRI zeigt sich das oben beschriebene Schädelbasismeningeom ausgehend vom *Planum sphenoidale*, *Tuberculum sellae* und medialen Keilbeinflügel links mit Kompression des *Chiasma opticum* und des linken *Nervus opticus*. In der ophthalmologischen Untersuchung zeigte sich bilateral links betont ein progredienter Visusverlust, passend zu einer Opticus-/Chiasma-Kompression. Der Tumor wurde in endoskopisch-assistierter Technik mikrochirurgisch unter elektrophysiologischem Monitoring (insb. visuell-evozierte Potenziale) über einen pterionalen Zugang vollständig reseziert. Der sehr ausgespannt über den Tumor laufende linke *N. opticus* konnte erhalten werden, der postoperative Verlauf war unauffällig. Die histopathologischen Untersuchungen ergaben ein atypisches Meningeom, WHO-Grad II.

sich in Kockro et al. in 2009 und 2021 [44, 45].

Die Operationsstrategie und Technik fußt in erster Linie auf der detaillierten Bildgebung und der Kenntnis der chirurgischen Zugänglichkeit einzelner Strukturen. Hilfe leisten präoperative 3D-Darstellungsmethoden und hochauflösende MRT- und CT-Sequenzen, mit denen kritische Strukturen detailliert dargestellt und Operationsschritte simuliert werden können (Abb. 5). Es wurde gezeigt, dass eine solche 3D-Vorbereitung mit Operationssimulatoren vor allem in komplexen Fällen zu mehr intraoperativer Sicherheit führt und das chirurgische Ergebnis optimiert werden kann [16, 17, 44-47].

So ist es im Laufe der Jahre gelungen, die großen Kraniotomien der Standardzugänge der Schädelbasis zu minimieren und individuell auf die Patientin/den Patienten anzupassen. Das Ziel ist es, durch den Zugang eine bestmögliche Darstellung des Operationsgebietes zu gewährleisten und gleichzeitig das kleinstmögliche chirurgische Trauma zu setzen. Mit anderen Worten: so klein wie möglich und so groß wie nötig. In geeigneten Fällen ist es möglich, Tumoren an der Schädelbasis über einen kleinen Schlüsselloch-Zugang über einen Schnitt z.B. in der lateralen Augenbraue oder hinter dem Ohr zu resezieren. Dies gelingt insbesondere, seit es das Endoskop ermöglicht, Bereiche jenseits der Blickachse des Mikroskops einzusehen und hier

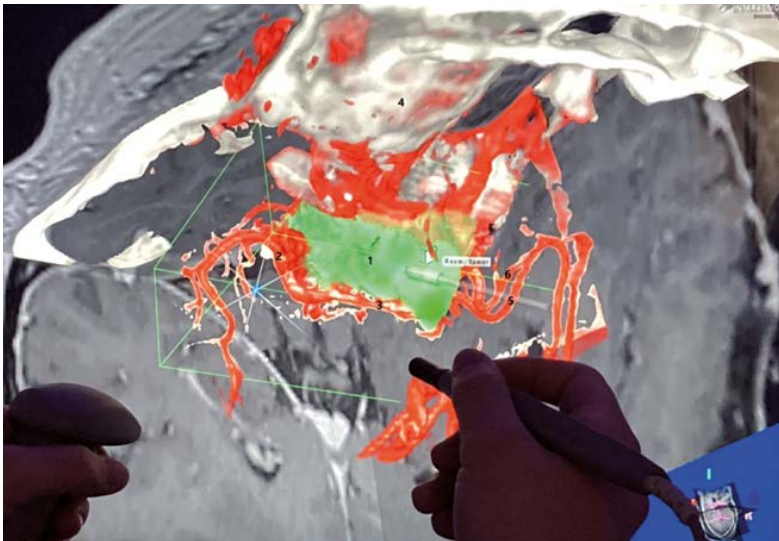


Abb. 5: Präoperative 3D-Planung im Dextroscope Virtual Reality Simulator zu Fallbeispiel 2. Während der Simulation wurde die Resektion simuliert und die vom Tumor verdeckte Carotis-Bifurkation mit den M1- und A1-Segmenten dargestellt. Mit den in den Händen gehaltenen Sensoren kann in das 3D-Szenario eingetaucht werden, um essenzielle Schritte der Operation zu simulieren. 1=Meningeom; 2=linke A. cerebri media, M1-Segment; 3=linke A. cerebri anterior, A1-Segment; 4=vordere Schädelgrube, linkes Orbitadach; 5 und 6=paarige Aa. cerebri anteriores distal.

mit geeigneten Mikroinstrumenten zu operieren [48-51].

Meningeome, welche mit ihrer gesamten Basis in der **vorderen Schädelgrube** liegen, können über kleine subfrontale und supraorbitale Zugänge erreicht werden, wobei der Einsatz des Endoskops es ermöglicht, abfallende Flächen einzusehen. Dazu zählt die Olfaktoriusrinne und die dorsale Flanke des *Tuberculum sellae* sowie der supraselläre Raum. Auch Tumoren, die minimal über den Keilbeinflügel in die mittlere Schädelgrube reichen, können

so mithilfe des Endoskops reseziert werden.

Für Meningeome am **Keilbeinflügel** ist in der Regel der pterionale Zugang am besten geeignet. Bei kleineren Prozessen ist oft eine pterionale Mini-Kraniotomie mit einem nur ca. 3-4 cm langen Hautschnitt hinter der Haarlinie und transmuskulärer Präparation durch den *Musculus temporalis* ausreichend. Entscheidend ist bei der Auswahl des Zugangs die Einsehbarkeit und Absicherung des medialen Tumorreiches, insbesondere im Hinblick auf

die vaskuläre Nachbarschaft, den *Sinus cavernosus* und die angrenzenden Hirnnerven II und III.

Meningeome am **Felsenbein und Clivus** stellen aufgrund der Nähe zu einer Vielzahl von Hirnnerven und Blutgefäßen, welche Äste zur Versorgung des Hirnstamms abgeben, eine chirurgische Herausforderung dar. Auch hier gilt, dass die Läsion und dessen Umgebung präzise analysiert und verstanden sein müssen, um die optimale Operationsstrategie festlegen zu können. Hochauflösende MRI-Sequenzen ermöglichen heutzutage die Darstellung von Hirnnerven und Gefäßen auch in unmittelbarer Nähe zu Tumoren. Fusioniert mit der CT-Darstellung der Schädelbasis kann das **Zielgebiet detailliert virtuell dargestellt und die Operation geplant werden**. In den meisten Fällen können petrosale und clivale Meningeome über einen retrosigmoidalen Zugang angegangen werden, welcher individuell positioniert und proportioniert wird. Bei weit nach kranial reichenden Prozessen werden ggf. subtemporale, subfrontale bzw. von pterional kommende Korridore in Erwägung gezogen, bei kaudal gelegenen Zielgebieten spielt die individuelle Anatomie im Bereich des *Tuberculum jugulare* für die Erreichbarkeit der Zielstrukturen eine entscheidende Rolle. Auch im petroclivalen Raum gilt, dass minimal-invasive endoskopische Methoden die Zugangsmöglichkeiten erweitern und vereinfachen, sodass komplexe transpetrosale oder transorale Zugänge nur noch selten notwendig sind.

Vor allem im Bereich der Schädelbasis ist das **intraoperative Monitoring** ein bedeutender Sicherheitsaspekt, mit dem Hirnnerven im Operationsgebiet direkt kontrolliert werden können. Mittels Elektromyographie und direkter Stimulation werden die Funktionen der okulomotorischen Nerven *N. oculomotorius* und *N. abducens*, des *N. trigeminus*, des *N. facialis* und der kaudalen Hirnnerven N. IX bis N. XII überprüft; via akustisch-evozierter Potenziale der cochleare Anteil des *N. vestibulocochlearis* [13, 52-58]. Über sensorisch-evozierte Potenziale (SEPs) und motorisch-evozierte

Simpson-Grad	Chirurgische Voraussetzungen
1	makroskopische Komplettresektion mit Exzision der anhaftenden Dura und ggf. veränderten ossären Strukturen
2	makroskopische Totalresektion mit Koagulation der duralen und/oder ossären Anhaftungsstelle
3	makroskopische Totalresektion ohne Koagulation der duralen und/oder ossären Anhaftungsstelle
4	Teilresektion/Debulking
5	Biopsie

Tab. 1: Simpson-Graduierung (konzipiert nach [10]).

Potenziale (MEPs) werden die ab- und aufsteigenden Bahnen überwacht [10, 13, 59-62]. Das intraoperative Monitoring erleichtert somit als elektrisches Radar den Weg durch die komplexe Anatomie der Schädelbasis und des kraniozervikalen Übergangs, wobei der Funktionserhalt der neuralen Strukturen höchste Priorität hat. Bei Meningeomen in unmittelbarer Nähe zu Hirnnerven oder Gefäßen ist eine Totalresektion aufgrund des Risikos einer Verletzung dieser Strukturen deswegen oft nicht möglich. In diesen Fällen ist deshalb eine defensive Operationsstrategie mit dem geplanten Ziel einer Teilresektion im Sinne des neurologischen Funktionserhalts sinnvoll. In Zeiten der modernen Präzisionsradiochirurgie kann der Tumorrest strahlentherapeutisch, bzw. stereotaktisch nachbehandelt werden (Gamma-Knife, Cyber-Knife oder ZAP-X) [10, 26, 63-69].

Nach der Operation

Eine Möglichkeit, das Ausmaß der Meningeomresektion zu kategorisieren, ist die Simpson-Graduierung (Tab. 1). Im Allgemeinen gilt, je höher der Grad,

desto höher die Rezidiv-Wahrscheinlichkeit [70, 71].

Im Falle von Konvexitätsmeningeomen ist die Grad-1-Resektion in der Regel möglich, da die Dura reseziert und rekonstruiert werden kann. Parasagittale und Schädelbasismeningeome können oft nicht mitsamt der Dura entfernt werden. Jüngst konnte durch Behling et al. in deren Kollektiv von 1.571 Patient:innen gezeigt werden, dass eine Simpson-Grad-2-Resektion gegenüber Grad 1 keinen signifikanten Nachteil im progressionsfreien Überleben darstellt [69]. Sughrie et al. publizierten 2010 ebenfalls, dass zwischen Simpson-Grad-1- und -Grad-2-Resektionen bei WHO-Grad-I-Meningeomen kein statistisch signifikanter Unterschied in Bezug auf die 5-Jahres-Rezidivfreiheit besteht [72].

Zusammenfassung und Ausblick

Meningeome sind die häufigsten ZNS-eigenen Tumoren, weit überwiegend gutartig und wachsen meistens langsam. Bei symptomatischen oder eindeutig großenprogreredienten

Meningeomen ist die mikrochirurgische Resektion in der Regel die Therapie der Wahl. Durch sorgfältige Operationsplanung basierend auf hochauflösenden MRI- und CT-Daten sowie durch Technologie-gestützte filigrane Operationsmethoden ist eine vollständige Tumorresektion unter Erhalt aller neurologischer Funktionen in vielen Fällen möglich. Im Falle einer Teilresektion kann radiochirurgisch meist eine effektive Tumorkontrolle erreicht werden. Verfeinerte Methoden der multimodal kontrollierten mikromechanischen Geweberesektion werden es in Zukunft ermöglichen, den Grad der gewebeschonenden Komplettresektionen weiter zu erhöhen.

Es besteht kein Interessenkonflikt.

Die Literatur finden Sie unter:
www.med4u.org/21587

AUTOR

Prof. Dr. med. Ralf A. Kockro
Facharzt FMH für
Neurochirurgie



Zentrum für MikroNeurochirurgie
Klinik Hirslanden
Witellikerstraße 40
8032 Zürich
Schweiz

Tel.: +41 (0) 44/3872130
Fax: +41 (0) 44/3872131
E-Mail: ralf.kockro@hirslanden.ch

AUTOR

Oliver Dietmar Fabrig
Assistenzarzt Neurochirurgie



Zentrum für MikroNeurochirurgie
Klinik Hirslanden
Witellikerstraße 40
8032 Zürich
Schweiz

Tel.: +41 (0) 44/3872130
Fax: +41 (0) 44/3872131
E-Mail: oliverdietmar.fabrig@hirslanden.ch

ABSTRACT

R. A. Kockro, O. D. Fabrig.¹

About 1.4% of all new diagnosed neoplasia are CNS tumors. Meningiomas and gliomas are the two most common intracranial CNS derived tumor entities. In this "part I" of a two-part review, surgical principles of meningioma surgery are presented. Meningiomas represent approximately 35% of all CNS derived intracranial tumors. In case of tumor-related symptoms and/or tumor growth in imaging, therapy should be initiated and in most cases surgical resection is the gold standard. Part I provides an overview of the principles of meningioma therapy and surgical concepts of modern microneurosurgery. Special attention is given to patient-specific surgery planning in 3D environments as well as intraoperative techniques of minimally invasive neurosurgery.

¹ Zentrum für MikroNeurochirurgie, Klinik Hirslanden, Zürich, Schweiz.

Keywords: CNS tumors, meningioma, minimally invasive neurosurgery