Artikel online veröffentlicht: 02.05.2024

Interdisziplinäre Behandlung von Schädelbasistumoren

Interdisciplinary Management of Skull Base Tumors

OPEN ACCESS

Autorinnen/Autoren
Ruediger Gerlach[1], Claudia Lodovica Modesti[2], Vittorio Rampinelli[2]

Institute
1 Klinik für Neurochirurgie, Helios Klinikum Erfurt GmbH, Erfurt
2 Unit of Otolaryngology and Head and Surgery, ASST Spedali Civili di Brescia, University of Brescia, Italy

Schlüsselwörter
Schädelbasischirurgie, endoskopische Operationen, interdisziplinäres Management

Keywords
Skull base surgery, endoscopic surgery, interdisciplinary management

Bibliografie
Laryngo-Rhino-Otol 2024; 103: S28–S42
DOI 10.1055/a-2196-8984
ISSN 0935-8943
© 2024. The Author(s).

This is an open access article published by Thieme under the terms of the Creative Commons Attribution-NonDerivative-NonCommercial-License, permitting copying and reproduction so long as the original work is given appropriate credit. Contents may not be used for commercial purposes, or adapted, remixed, transformed or built upon. (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Georg Thieme Verlag, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenz
Ruediger Gerlach MD
Klinik für Neurochirurgie
Helios Klinikum Erfurt
Nordhäuser Str. 74
99089 Erfurt
Tel : + 49 (0) 361 781 2261, Fax : + 49 (0) 361 781 2262
ruediger.gerlach@helios-gesundheit.de

ZUSAMMENFASSUNG

Zielsetzung Die endoskopische endonasale Schädelbasischirurgie hat sich weltweit durchgesetzt. Vergleichende Analysen haben gezeigt, dass die endoskopische Schädelbasischirurgie bei vielen Pathologien der vorderen Schädelbasis, z. B. bei bösartigen Tumoren der Nasennebenhöhlen, bei Pathologien der zentralen Schädelbasis wie Hypophysenadenomen, Kraniopharyngiomen, ausgewählten Fällen von Meningiomen des Planum sphenoidale und des Tuberculum sellae oder bei clivalen Läsionen, z. B. bei Chordomen, Chondrosarkomen oder bestimmten Meningiomen, Vorteile bieten kann. In den letzten drei Jahrzehnten konnten interdisziplinäre chirurgische Teams bestehend aus HNO-Ärzten und Neurochirurgen detaillierte anatomische Kenntnisse vermitteln, neue Ansätze oder Modifikationen etablierter chirurgischer Techniken vorschlagen und somit zu einer kontinuierlichen chirurgischen Weiterbildung beitragen.
Methode Es wurde eine Übersicht über die einschlägige Literatur erstellt, wobei der Schwerpunkt auf der interdisziplinären endoskopischen Chirurgie von Schädelbasisläsionen lag.
Ergebnisse Auf der Grundlage der chirurgischen Erfahrung der Autoren in zwei verschiedenen interdisziplinären endoskopischen Schädelbasiszentren klassifizieren die Autoren die Ansätze für die endoskopische endonasale Schädelbasischirurgie, beschreiben Indikationen und wichtige anatomische Orientierungspunkte für häufige Pathologien und heben chirurgische Techniken zur Vermeidung von Komplikationen hervor.
Schlussfolgerung Die interdisziplinäre endonasale endoskopische Chirurgie vereint chirurgisches Fachwissen, verbessert die Resektionsraten bei vielen Pathologien und minimiert die Morbidität durch Verringern der Häufigkeit chirurgischer Komplikationen.

ABSTRACT

Objective Endoscopic endonasal skull base surgery has gained acceptance worldwide. Comparative analysis has demonstrated that endoscopic skull base surgery may have advantages for many pathologies of the anterior skull base, e. g., sinonasal malignant tumors; pathologies of the central skull base, e. g., pituitary adenomas, craniopharyngiomas; well-selected cases of planum sphenoidale and tuberculum sellae meningiomas; or for clival lesions, e. g., chordomas, chondrosarcomas, or selected meningiomas. Over the past three decades, interdisciplinary surgical teams, consisting of otolaryngologists and neurosurgeons, have provided detailed anatomical knowledge, suggested new approaches or modifications of established surgical techniques, and offered continued surgical education.
Method A review of pertinent literature was conducted with an emphasis on interdisciplinary endoscopic surgery of skull base lesions.
Results Based on the authors' surgical experience in two different interdisciplinary endoscopic skull base centers, the au-

thors classify approaches for endoscopic endonasal skull base surgery, describe indications, and key anatomic landmarks for common pathologies, and highlight surgical techniques to avoid complications.

Conclusion Interdisciplinary endonasal endoscopic surgery combines surgical expertise, improves resection rates for many pathologies, and minimizes morbidity by reducing the incidence of surgical complications.

Inhaltsverzeichnis

	Zusammenfassung	28
	Abstract	28
1.	Einleitung	29
2.	Methoden	30
2.1	Allgemeine chirurgische Betrachtungen zur interdisziplinären endoskopischen Schädelbasischirurgie	30
2.2	Mittellinienzugänge	31
2.2.1	Transfrontaler Zugang	31
2.2.2	Transcribriformer Zugang	31
2.2.3	Transsellärer Zugang	32
2.2.3.1	Nasale Phase	32
2.2.3.2	Sphenoidale Phase	33
2.2.3.3	Selläre Phase	33
2.2.3.4	Verschluss- und Rekonstruktionstechniken	34
2.2.4	Transplanum-Transtuberculum-Zugang	34
2.2.5	Transclivaler Zugang	37
2.3	Koronale Zugänge	37
2.3.1	Mediale Maxillektomie, Fossa pterygopalatina und Fossa infratemporalis	37
2.3.2	Transpterygoidale Zugänge	39
	Literatur	40

1. Einleitung

Transnasale endoskopische Techniken haben der Schädelbasischirurgie bedeutende Fortschritte beschert. In den letzten 30 Jahren hat sich unser Verständnis der Anatomie der Schädelbasis aus endoskopischer Sicht erheblich verbessert, was den Wert der endoskopischen transnasalen Chirurgie für die Behandlung von Pathologien der Schädelbasis erhöht hat [1–3].

Da die chirurgischen Zugänge zur Schädelbasis über die Nasenhaupthöhle und die Nasennebenhöhlen erfolgen, waren HNO-Ärzte in der Anfangsphase maßgeblich an der Entwicklung der endoskopischen Schädelbasischirurgie beteiligt. Die neue Technik ermöglichte den Neurochirurgen jedoch einen weniger traumatisierenden Zugang zur Schädelbasis von unten, und in vielen Zentren auf der ganzen Welt begann eine sehr enge Zusammenarbeit zwischen HNO-Chirurgen und Neurochirurgen mit interdisziplinären Operationen zur Behandlung von Pathologien auf beiden Seiten der Schädelbasis. Diese interdisziplinäre Teamarbeit förderte die Weiterentwicklung von speziellen Instrumenten und die Verfeinerung der chirurgischen Technik und verbesserte damit letztlich das Behandlungsergebnis für die Patienten.

Die Etablierung der interdisziplinären endoskopischen Operationsverfahren begann in verschiedenen Zentren der Welt zunächst mit der Hypophysentumorchirurgie und wurde bald für Pathologien der parasellären Region, der Felsenbeinspitze, des Foramen jugulare, der Fossa infratemporalis und des oberen Parapharyngealraums erweitert [4–7].

Die endoskopischen Operationsverfahren haben vergleichbare oder sogar bessere Ergebnisse in Bezug auf die Tumorresektion und Rekonstruktion gezeigt und gleichzeitig die für offene Verfahren typische hohe Morbidität verringert [8]. Die Wahl des chirurgischen Zugangs richtet sich nach der Art und Lage der Erkrankung, ihrer Beziehung zu kritischen neurovaskulären Strukturen, der Biologie der zu behandelnden Läsion und der Ausdehnung des zu erwartenden Defekts. Die chirurgische Exposition und die Wahl des Zugangs muss eine adäquate Darstellung des Operationssitus ermöglichen, ist die Voraussetzung für eine sichere und vollständige chirurgische Entfernung der Pathologie mit dem Ziel des Nachweises negativer Grenzschnitte, und muss eine angemessene Rekonstruktion von Defekten der Schädelbasis ermöglichen. Nur so sind optimale Operationsergebnisse zu erreichen und die Vermeidung von Komplikationen möglich. Mehrere endoskopische Techniken können modular mit Abstufungen hinsichtlich der chirurgischen Invasivität konzipiert werden, die es dem Chirurgen ermöglichen, den Zugang zu erweitern, falls die Läsion infiltrativer wächst, bzw. um lebenswichtige neurovaskuläre Strukturen zu identifizieren und zu schützen [3, 9].

In Anbetracht der Komplexität der Anatomie ist zum besseren Verständnis eine Klassifikation der Zugänge sinnvoll, um eine sichere Operation angepasst an die Anatomie der Schädelbasis im Vorfeld zu planen. Chirurgische Module, die nach ihrer Beziehung zur Arteria carotis interna in sagittaler und koronaler Ebene kategorisiert sind, ermöglichen den Zugang zur gesamten ventralen Schädelbasis. Die Zugänge in der Sagittalebene ermöglichen die Freilegung der medianen Strukturen, die sich von der Hinterwand des Sinus frontalis bis C2, zwischen den Arteriae carotis internae und den Augenhöhlen, erstrecken [9–11]. Folgende modulare Zugänge sind zu unterscheiden, bzw. können entsprechend des Ziels der Operation miteinander kombiniert werden, transfrontal, transcribriform, transplanum-transtuberculum, transsellar, transclival und transodontoid (▶ **Tab. 1**) [5, 6, 9]. Paramediane und laterale Zugänge zur Schädelbasis in der coronaren Ebene umfassen verschiedene Zugänge zur Lamina papyracea, zum Orbitadach und zur Orbitahöhle, zum perisellären Bereich, zum Sinus cavernosus,

▶ **Tab. 1** Klassifikation von endoskopischen Zugängen zur Schädelbasis.

Mittellinienzugänge (Sagittalebene)	Transfrontal
	Transcribriform
	Transplanum-Transtuberculum
	Transsellar
	Transclival
	Transodontoid
coronale Zugänge	Zugang zur Orbita
	Dekompression des N. opticus
	Transcavernöser Zugang
	Zugang zur medialen Felsenbeinspitze
	Fossa transpterygomaxillaris und infratemporalis
	Oberer und unterer transpterygoidaler Zugang
	Suprapetrosaler Zugang (Meckels Cave)
	Infrapetrosaler Zugang
	Transcondylärer-transjugulärer Tuberculum Zugänge zum oberen Parapharyngealraum

zur Felsenbeinspitze, zum Cavum Meckeli und zur Fossa pterygopalatina und zur Fossa infratemporalis. Die posterioren koronalen Zugänge ermöglichen die Exposition des inferioren Felsenbeins, des lateralen kraniozervikalen Übergangs und des oberen Parapharyngealraums. Die oben genannten Zugänge sind miteinander verbunden und können je nach Bedarf zur Behandlung einer Vielzahl von Pathologien kombiniert werden [10]. Darüber hinaus kann der transnasale Weg in ausgedehnten Fällen mit anderen Zugängen (d. h. transoral, transorbital, transzervikal und transpetrosal) kombiniert werden, die in eine multiportale chirurgische Strategie integriert sind, oder es können in bestimmten Fällen stufenweise Verfahren angezeigt sein [12, 13].

In Anbetracht der Seltenheit von Schädelbasisläsionen ist die Lernkurve in der Regel flach und bedarf ständiger Weiterentwicklung. Aus diesen Gründen sollten Patienten mit Pathologien der Schädelbasis an spezielle Zentren überwiesen werden, die über eine hohe chirurgische Kompetenz, hohe Fallzahlen und die Verfügbarkeit aller Fachrichtungen verfügen, wie z. B. (Neuro-)Radiologie, medizinische Onkologie und Strahlentherapie, Augenheilkunde, Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie und spezielle Pathologie.

Da die multidisziplinäre Zusammenarbeit von HNO-Chirurgie und Neurochirurgie bei der Behandlung von Pathologien der Schädelbasis von entscheidender Bedeutung ist, besteht das Ziel dieses Beitrags darin, i) einen Überblick über verschiedene chirurgische Ansätze mit Fokus auf die chirurgische Anatomie sowie Tipps und Tricks zur Vermeidung von Komplikationen zu geben und ii) die Überlegenheit der Ergebnisse bei Behandlung durch ein interdisziplinäres endoskopisches Schädelbasisteam zu belegen [14].

2. Methoden

Die Autoren haben basierend auf ihrer chirurgischen Erfahrung typische endoskopische Schädelbasiszugänge dargestellt und repräsentative Fälle beschrieben. Die wissenschaftliche Literatur wird analysiert, um ein umfassendes Verständnis der Schädelbasisanatomie, der chirurgischen Anatomie und der Angemessenheit von Zugängen mit Grenzen und möglichen Komplikationen zu vermitteln.

2.1 Allgemeine chirurgische Betrachtungen zur interdisziplinären endoskopischen Schädelbasischirurgie

Eine adäquate präoperative chirurgische Bildgebung muss die anatomische Lage, die Größe und die Ausdehnung der Pathologie erfassen. Daher sind Dünnschicht-CT und MRT mit speziellen Sequenzen (z. B. Fettsättigung, Dünnschicht-T2-Sequenzen usw.) für die chirurgische Planung erforderlich. In der Regel wird die bildgestützte Navigation zur besseren intraoperativen Orientierung und Identifizierung kritischer neurovaskulärer Strukturen eingesetzt. Im Falle der optischen Navigation ist eine rigide Fixierung des Kopfes erforderlich, während die elektromagnetische Navigation die Positionierung des Kopfes in einer Kopfstütze und intraoperative Bewegungen des Kopfes ermöglichen kann.

Die Operation erfolgt in Allgemeinnarkose mit orotrachealer Intubation. Die standardmäßige anästhesiologische Vorbereitung der Patienten umfasst eine kontinuierlichen Blutdrucküberwachung, die Überwachung des Flüssigkeitshaushalts (Anlage Blasenkatheter) und entsprechende intravenöse Zugänge für den ausreichenden Flüssigkeitsersatz. Zur Vorbeugung gegen tiefe Venenthrombosen werden bei länger dauernden Operationen intermittierende pneumatische Kompressionsgeräte (IPC) eingesetzt.

Eine Rachentamponade wird platziert, um die Aspiration von Blut oder Spüllösung zu verhindern. Das Anästhesieteam und die Überwachungsgeräte sind während der Operation am Fuß des Patienten platziert.

Wenn nach dem präoperativen MRT keine Dura-Invasion angenommen wird, wird die endoskopische Schädelbasischirurgie entweder von HNO-Chirurgen allein oder gemeinsam mit einem Neurochirurgen durchgeführt. Ist eine intrakranielle Ausdehnung der Pathologie zu erwarten oder durch präoperative Bildgebung nachgewiesen, sollte ein spezielles interdisziplinäres Team aus HNO-Chirurgen und Neurochirurgen die Operation interdisziplinär durchführen.

Der Patient wird in Rückenlage gelagert, wobei der Oberkörper leicht angehoben wird (max. 20 °). Der Kopf wird entweder auf eine Kopfstütze gelegt oder in einer Mayfield-Klemme in neutraler Position mit einer minimalen Drehung (10 °) in Richtung des Hauptoperateurs fixiert (▶ **Abb. 1**).

CT- und/oder MRT-Daten werden zur Koreferenzierung und Bildführung während des Eingriffs verwendet. Nach der Vorbereitung des Operationsfeldes werden in Xylometazolin getränkte Tupfer zum Abschwellen der Schleimhäute in beide Nasenlöcher gelegt. In der Zwischenzeit werden sterile Abdeckungen und ein standardisiertes Time-out durchgeführt. Vor Beginn der Operation wird ein intravenöses Antibiotikum (z. B. 1,5 g Cefuroxim) verabreicht.

Der intraoperative Aufbau kann je nach Präferenz des Chirurgen variieren. In unserem Setup steht der Operateur auf der rechten Seite des Patienten, während der assistierende Chirurg auf der linken Seite des Patienten steht. Die OP-Schwester steht neben dem Hauptchirurgen, entweder auf dessen linker oder rechter Seite. Andere Teams bevorzugen, dass beide Chirurgen nahe beieinander

▶ **Abb. 1** Der Patient wird in Rückenlage gelagert, wobei der Oberkörper leicht angehoben wird (max. 20 °). Der Kopf wird in einer Mayfield-Klemme in neutraler Position mit einer minimalen Drehung (10 °) in Richtung des Hauptchirurgen fixiert.

auf der rechten Seite des Patienten stehen. Die jeweiligen Positionen der Chirurgen hängen von den Gewohnheiten und Erfahrung des Teams ab und müssen eine effektive vierhändige Operationstechnik gewährleisten.

Da eine Visualisierung unabdingbar ist, müssen die Monitore so platziert werden, dass sie eine ungehinderte Sicht ermöglichen, ohne die ergonomischen Arbeitsabläufe während der Operation sowohl für die Chirurgen als auch für die OP-Schwestern zu beeinträchtigen.

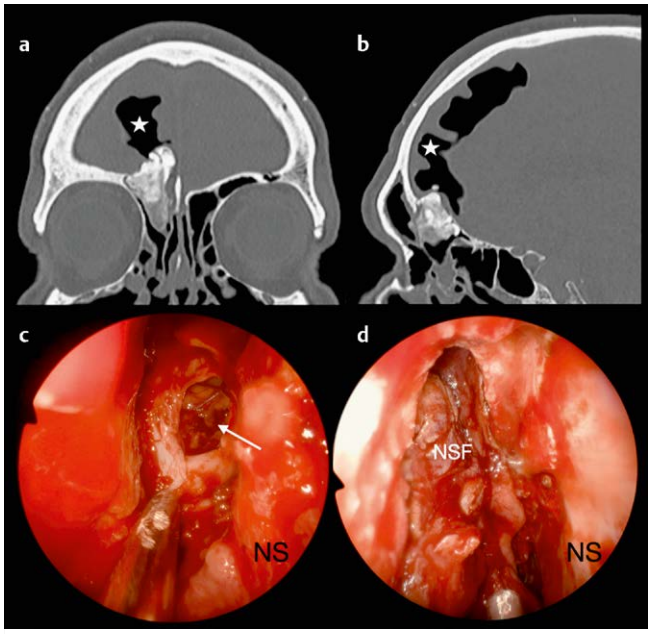
2.2 Mittellinienzugänge

2.2.1 Transfrontaler Zugang

Der Sinus frontalis kann als Korridor für den Zugang zur Hinterwand der Stirnhöhle genutzt werden [15–18]. Pathologien, die hauptsächlich von dieser Lokalisation ausgehen, sind Osteome, invertierte Papillome, Glomangioperizytome, Mukozelen und Meningoenzephalozelen, gefolgt von Dermoidzysten und nasalen glialen Heterotypien [16, 19–21]. Die Exposition im Rahmen des endoskopischen transfrontalen Zugangs entspricht einer Sinusotomie nach Draf Typ III (oder IIb in ausgewählten monolateralen Fällen). Die anatomischen Grenzen des Zugangs sind: anterior das Nasenbein, die Stirnhöhlenvorderwand; posterior die Lamina cribrosa und die Nasenscheidewand; lateral die medialen und kranialen Anteile der Augenhöhlen. Läsionen, die sich weit nach lateral ausdehnen und die Stirnhöhlenvorderwand mit einbeziehen, können nur selten mit einem rein endoskopischen transfrontalen Zugang behandelt werden, da eine Freilegung, die eine zufriedenstellende chirurgische Manövrierfähigkeit ermöglicht, nicht erreicht werden kann. In diesen Fällen können rein offene oder kombinierte Zugänge durchgeführt werden. Darüber hinaus zeigen dysembriogene Läsionen typische Ausdehnungen in Richtung der äußeren Nase, sodass in bestimmten Fällen auch eine kombinierte endoskopische oder offene Rhinoplastietechnik empfohlen wird [16]. Die Exposition lateral des Meridians der Orbita, die traditionell als die laterale Grenze des endoskopischen transfrontalen Zugangs angesehen wird, kann durch eine orbitale Transposition erreicht werden. Voraussetzung ist die Dissektion und Durchtrennung der Arteria ethmoidalis anterior, was eine inferiore und laterale Verlagerung der Orbita und einen lateralen Gewinn von wertvollen Millimetern ermöglicht [22]. Dieser chirurgische Zugang ist besonders anspruchsvoll, so dass seine Anwendung nur in ausgewählten Fällen erfolgen kann. Die individuelle Anatomie des Patienten beeinflusst die chirurgische Manövrierfähigkeit maßgeblich, da der enge Korridor in anteroposteriorer Richtung die Bewegungen der Chirurgen einschränkt und eine vierhändige Dissektion kaum möglich macht. Die Verletzung der knöchernen Strukturen (Lamina cribrosa, Stirnhöhle) sowie der Orbita kann zu ästhetischen und funktionellen Komplikationen führen. Die transdurale Dissektion ist aufgrund der Geometrie des Defekts und des Zugangswinkels sowie des Vorhandenseins wichtiger Gefäßstrukturen (z. B. Sinus sagittalis superior, Brückenvenen sowie orbitofrontaler und frontopolarer Arterien) besonders komplex. Die Rekonstruktion ist frühzeitig zu planen, da sie durch verschiedene Faktoren erschwert ist. Aufgrund der anterioren Lage ist die Abdeckung des vorderen und oberen Randes der frontalen endoskopischen Kraniektomie für den posterioren gestielten Schleimhautlappen (nasoseptaler Lappen) schwer zu erreichen. Da die Ausrichtung des Defekts vertikal ist, lastet der intrakranielle Druck in Verbindung mit der Schwerkraft nicht senkrecht auf der Duraplastik, was ihre Stabilität verringert. Trotz der Seltenheit der Indikationen und der inhärenten Komplexität ist es von entscheidender Bedeutung, die Rekonstruktion zu beherrschen, um Läsionen in der weit anterioren Region in der Mittellinie der vorderen Schädelbasis zu behandeln. Darüber hinaus ist eine sekundäre Beteiligung durch Kontinuitätswachstum von Pathologien der Schädelbasis, wie z. B. der Lamina cribrosa und den Ethmoidalzellen, recht häufig [23] (▶ **Abb. 2**).

2.2.2 Transcribriformer Zugang

Der transcribriforme Zugang ermöglichte die endoskopische Entfernung von Läsionen der vorderen Schädelbasis, die die Lamina cribrosa und das Ethmoidaldach (auch Fovea ethmoidalis genannt) betreffen [5, 24]. In den letzten 20 Jahren war dieser chirurgische Weg die primäre Technik für die Behandlung verschiedener Erkrankungen, wie z. B. sinunasale Malignome, Meningoenzephalozelen, Meningeome [25–29], Schwannome [30, 31] und dysembryogener Läsionen [32]. Darüber hinaus können ausgewählte spontane oder posttraumatische Liquorlfisteln über einen maßgeschneiderte transcribriformen Zugang behandelt werden. Die wichtigsten malignen Pathologien, die mit diesem Ansatz behandelt werden, sind Plattenepithelkarzinome, Adenokarzinome (hauptsächlich vom intestinalen oder nicht-intestinalen Typ) und olfaktorische Neuroblastome [1, 10, 33–42], mit guten onkologischen Ergebnissen und minimaler Morbidität im Vergleich zu herkömmlichen offenen transfazialen Verfahren. Zu den Faktoren, die die Wahl des Zugangs beeinflussen, gehören neben dem biologischen Verhalten der Läsion, der lokalen Ausdehnung und den rekonstruktiven Optionen auch der präoperative olfaktorische Status und die Möglichkeit das Riechen zu erhalten [43–45]. Die Grenzen für den transcribriformen Zugang umfassen vorn den Winkel zwischen Stirnhöhlenhinterwand und der vorderen Schädelbasis, posterior das



▶ **Abb. 2** Fall eines anterioren Schädelbasisosteoms, zentriert auf der Hinterwand der Stirnhöhle, mit intrakranieller Ausdehnung und Ventilmechanismus und Pneumoencephalon (weiße Sterne in Abbildung **a** und **b**). Bild **c** zeigt den Duradefekt, der durch einen transfrontalen endoskopischen Zugang (weißer Pfeil) entstanden ist. Die Rekonstruktion erfolgte mehrschichtig mit intraduralem Fett, intrakranialer extraduraler Fascia lata und nasospetalem Lappen (NSF) (in **d**). NS – Nasenscheidewand.

hintere Ethmoid und die Verbindung zum Planum sphenoidale und lateral die medialen Orbitalwände. Die Resektion kann in ausgewählten Fällen über diese Grenzen über die Orbita und die Stirnhöhlenhinterwand oder das Planum sphenoidale hinaus ausgedehnt werden. Darüber hinaus können ausgewählte unilaterale Läsionen über eine unilaterale endoskopische Kraniektomie operiert werden, wenn sie die Nasenscheidewand nicht überschreiten [46]. Diese chirurgische Strategie ermöglicht es den Patienten bei guten onkologischen Ergebnissen nach vollständiger Resektion, ihren Geruchssinn teilweise zu erhalten. Im Gegensatz dazu kommt es bei bilateralen Resektionen unweigerlich zu einer Anosmie, da die Riechorgane (Riechfäden, Riechkolben und Riechbahnen) auf beiden Seiten durchtrennt werden. Die erste Phase der Operation besteht in der Exploration der Nasenhaupthöhle, um die lokale Ausdehnung der Läsion zu erfassen und sie zu entfernen. Um die vordere Schädelbasis freizulegen, werden eine bilaterale mediale Maxillektomie, eine vollständige Ethmoidektomie, eine Draf-III-Stirnhöhleneröffnung, eine transrostrale Sphenoidotomie und eine Septektomie durchgeführt. Der bilaterale Zugang ermöglicht eine vierhändige Operationstechnik über zwei Nasenlöcher. Sobald die knöcherne vordere Schädelbasis freigelegt ist, müssen die Ethmoidalarterien koaguliert und durchtrennt werden. Die vordere (und mittlere, falls vorhanden) verläuft in der Regel extrakraniell, während die hintere in einem knöchernen Kanal zwischen Lamina cribrosa und Planum verläuft, der vor der Koagulation knöchern entdacht werden muss, um die Arterie freizulegen. Sobald der entsprechende Operationsbereich freigelegt ist, wird die Kraniektomie durchgeführt. Die Resektion kann bei Bedarf auf die Dura, die Falx und die Riechkolben und den Tractus olfactorius erweitert werden. Diese Technik ermöglicht eine klare Sicht auf den Gyrus rectus und den Gyrus orbitalis medialis, die im Falle einer mäßigen Infiltration ebenfalls endoskopisch behandelt werden können. Während der intrakraniellen Phase müssen Gefäße wie die vordere Falxarterie und die Arteria frontopolaris sorgfältig geschützt werden, um Verletzungen zu vermeiden, die möglicherweise dann mit einem offenen Zugang kontrolliert werden müssen [47].

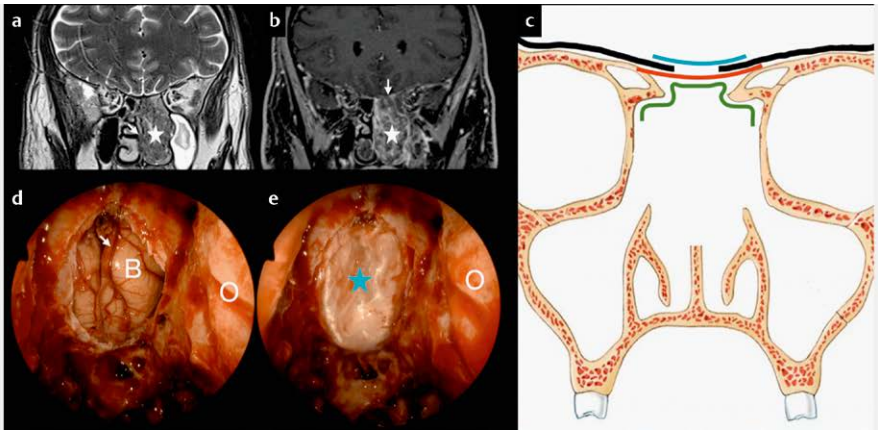
Die sorgfältige Rekonstruktion des Operationsdefektes ist wie bei den anderen Zugängen bereits präoperativ sorgfältig zu planen. Bislang ist die mehrschichtige Rekonstruktion mit verschiedenen Transplantaten und Lappen der Goldstandard [48, 49]. Die Geometrie des Defekts, bei der die Schwerkraft und der intrakranielle Druck auf die Ränder der Duraplastik drücken, sowie die starre Abstützung durch die knöchernen Grenzen der Resektion ermöglichen eine Stabilisierung der verschiedenen Schichten der Rekonstruktion. Aus diesem Grund werden in der Literatur nur sehr niedrige Raten an postoperativen Liquorlecks beschrieben. Für die intrakraniellen intraduralen und extraduralen Schichten der Rekonstruktion werden in der Regel Fascia lata/Tractus iliotibialis, synthetische oder Heterotransplantate, auch in Kombination mit Fetttransplantaten, verwendet. Als zweite oder dritte Schicht bieten gestielte vaskularisierte Schleimhautlappen eine optimale Option, die eine postoperative Liquorfistel verhindert und die Krustenbildung minimiert. Da nasal-ethmoidale Tumoren jedoch dazu neigen, die Nasenscheidewand und die Nasenmuscheln zu befallen, sind lokale vaskularisierte Lappen oft nicht verfügbar. Für diese Fälle werden in der Literatur gute Ergebnisse bei der Verwendung einer dritten extrakraniellen Faszienschicht beschrieben (▶ **Abb. 3**).

2.2.3 Transsellärer Zugang

Indikationen für den transsellären Zugang sind hauptsächlich selläre Pathologien, wobei Hypophysenadenome die am häufigsten anzutreffende Läsion sind. Aber auch andere intra- oder suprasselläre Läsionen können über den transsellären Zugang operiert werden, z. B. Kraniopharyngeome mit suprasellärer Ausdehnung. Andere seltene Pathologien können metastasierende Tumore oder Lymphome sein. Nach Cappabianca [50] ist der chirurgische Zugang in drei Phasen unterteilt, die nasale, die sphenoidale und die selläre Phase, und wird in einer sehr standardisierten Weise durchgeführt. Der Zugang sollte so minimal wie möglich sein, jedoch muss eine adäquate Exposition des Hypophysenadenoms bzw. einer anderen Läsion erreicht werden um die Pathologie mit Erhaltung der Hypophyse und/ oder des Hypophysenstiel zu erreichen. Nach der Tumorresektion muss eine sorgfältige Rekonstruktion mit Defektdeckung durchgeführt werden. Der knöcherne Defekt wird in der Regel mit Knochen des intrasphenoidalen Septums oder dem Knochen des hinteren Anteils des Nasenseptums bzw. der Keilbeinhöhlenvorderwand abgedeckt.

2.2.3.1 Nasale Phase

Die Operation beginnt nach endoskopischer Inspektion beider Nasenlöcher mit einem 0 °-Endoskop. Bei normalen Hypophysentumoren kann ein mononostriler Zugang ohne Verwendung eines Spekulums erfolgen. Einige Autoren bevorzugen einen binostrilen Zugang [50, 51]. Andere Chirurgen propagieren den mononostri-



▶ **Abb. 3** Fall eines naso-ethmoidalen Adenokarzinoms vom intestinalen Typ (weiße Sterne in Abbildung **a** und **b**). Die Läsion infiltrierte die Nasenscheidewand (weißer Pfeil in **a**) und hatte einen kritischen Kontakt mit der linken Lamina cribrosa (weißer Pfeil in **b**). Daher wurde ein beidseitiger transcribriformer Zugang vorgenommen. Bild **d** zeigt den Duradefekt mit freiliegendem Gehirn (**B**) und Frontalgefäßen (weißer Pfeil). Bild **e** zeigt die Fascia lata der intraduralen Rekonstruktion (blauer Stern). Bild **c** zeigt die mehrschichtige Rekonstruktion mit 3 Fascia lata Streifen. Der erste (blau) ist intradural positioniert, der zweite (rot) ist intrakraniell extradural, der dritte (grün) extrakraniell. O - Orbita.

len endonasalen transethmoidal-paraseptalen Zugang zur Resektion von Hypophysenadenomen [52]. Der mononostrile Zugang bietet in der Regel eine ausreichende chirurgische Manövrierfähigkeit der Instrumente und die Dissektion wird in Drei- oder Vierhandtechnik durchgeführt. In der nasalen Phase hält der Chirurg in der Regel das Endoskop in der linken Hand, während die Präparationsinstrumente mit der rechten Hand verwendet werden. Mit dieser Technik wird eine dynamischere Sicht zur Beurteilung der Tiefenwahrnehmung ermöglicht. Der Assistent sorgt durch Spülung und Saugung für eine angemessene Sicht. In unserem interdisziplinären Team beginnt der HNO-Chirurg die Operation mit neurochirurgischer Unterstützung. Nach dem Einführen des Endoskops in die Nase werden Landmarken aufgesucht, sodass der Zugang sicher durchgeführt werden kann. Das Endoskop wird zwischen der unteren Nasenmuschel und der Nasenscheidewand vorgeschoben und die Choane wird identifiziert. Das Ostium sphenoidale kann sehr früh lokalisiert werden, indem das Endoskop etwa 1,0 cm kranial der Choane angehoben wird. Die mittlere Nasenmuschel wird identifiziert und lateralisiert, um den Raum zwischen der mittleren Nasenmuschel und der Nasenscheidewand zu vergrößern und die chirurgische Freiheit im gewählten Nasenloch zu erhöhen. Bei der lateralen Luxation der Nasenmuscheln ist Vorsicht geboten, um Verletzungen der Siebbeinplatte zu vermeiden, was zum Austritt von Liquor führen könnte. Wenn das Ostium der Keilbeinhöhle von der oberen Nasenmuschel oder einer Concha nasalis suprema bedeckt ist, kann diese vorsichtig lateralisiert oder entfernt werden. Wir verwenden zirkuläre Stanzen, um das Ostium zu vergrößern. Anschließend kann man bereits den ipsilateralen Sinus sphenoidalis visualisieren. Von der medialen Zirkumferenz des Ostiums der Keilbeinhöhle wird die Schleimhaut mit einem geraden, nach oben gerichteter Schnitt in Richtung des hinteren Teils der Nasenscheidewand inzidiert. Vor dem Einschnitt kann Kochsalzlösung injiziert werden, um die Schleimhaut am hinteren Teil der Nasenscheidewand anzuheben. Für die Schleimhautinzision kann ein monopolares Messer oder ein Sichelmesser verwendet werden. In Fällen mit erweiterten Zugängen oder bei Vermutung einer postoperativen High-Flow-Liquorfistel wird ein gestielter Lappen an der Arteria sphenopalatina entsprechend der Größe des Defekts präpariert [53]. Nach Frakturierung des hinteren Nasenseptums wird die Nasenscheidewand auf die kontralaterale Seite geschoben. Die kontralaterale Schleimhaut wird angehoben und das kontralaterale Ostium dargestellt.

2.2.3.2 Sphenoidale Phase

Eine anteriore Sphenoidektomie wird mit einer 4 mm Diamantfräse durchgeführt. Es ist von entscheidender Bedeutung, die Vorderwand der Keilbeinhöhle weit nach lateral zu eröffnen, um eine angemessene Exposition der zentralen Schädelbasis mit Darstellung der Landmarken zu erreichen und die Instrumente, wenn sie sich in der Keilbeinhöhle befinden, sicher führen zu können. Falls erforderlich, kann der untere Teil der ipsilateralen oberen Nasenmuschel entfernt und eine begrenzte hintere Ethmoidektomie durchgeführt werden, um den Grad der chirurgischen Freiheit zu erhöhen. Nach Abschluss der anterioren Sphenoidektomie (Entfernung des Rostrums) werden die intrasphenoidalen Septen mit einer Diamantfräse entfernt. Es wird empfohlen, die knöchernen Septen für die spätere Rekonstruktion des Sellabodens zu schonen. Die Schleimhaut wird angehoben und lateralisiert oder teilweise reseziert. Im Falle des Vorhandenseins mehrerer Septen, insbesondere horizontaler Septen, kann die Anwendung der Navigation helfen, das Ausmaß der Freilegung zu bestimmen, wobei die Exposition des Planum sphenoidale als am weitesten kraniale Landmarke dient. In allen Fällen werden die beidseitigen knöchernen Vorsprünge der Karotisarterien sowie die medialen Optokarotischen Rezessus als Orientierungspunkte für die Identifizierung des Sellabodens verwendet (▶ **Abb. 5**).

2.2.3.3 Selläre Phase

Nach Abschluss der sphenoidalen Phase wechseln der Neurochirurg und der HNO-Chirurg ihre Positionen, und der Neurochirurg führt den chirurgischen Eingriff weiter durch, während der Assistent das Endoskop führt. Wir verwenden während der Operation

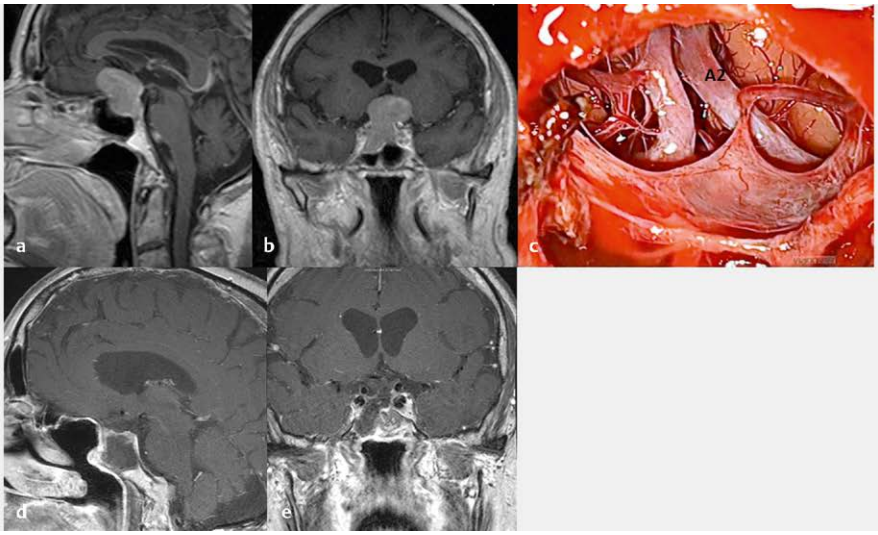
keinen Endoskophalter, da unserer Meinung nach ein dynamisches Endoskopiern den Komfort der Chirurgen und die Flexibilität während der intrasellaren Dissektion erhöht. Die Dissektion wird bimanuell durchgeführt. Die Eröffnung des Sellabodens erfolgt mit einer Diamantfräse. In Fällen, in denen der Sellaboden ausgedünnt ist, kann ein Häkchen oder Dissektor zur Eröffnung des Bodens verwendet werden. Das Ausmaß der Eröffnung reicht von der Basis der Sella bis zum Planum sphenoidale und von einem Karotisvorsprung zum kontralateralen Karotisvorsprung. Es ist darauf zu achten, dass die Arteria carotis nicht verletzt wird. In einigen Fällen fehlt die knöcherne Abdeckung der Arteria carotis was deren Verletzungsgefahr erhöht. Nach der Entfernung des Knochens erfolgt die Durainzision in der Regel basal und wird kreuzförmig oder rechteckig erweitert. Die Duraöffnung wird kranial auf beiden Seiten mit einer Mikroschere vergrößert. Blutungen aus dem Sinus intercavernosus oder dem Sinus cavernosus können mit Floseal oder bipolarer Koagulation gestoppt werden. Für die Manipulation durch die Nase werden lange, gerade Instrumente verwendet, wobei die Spitze des Instruments bei jedem Schritt des Eingriffs immer sichtbar sein sollte. Die Größe und die präoperative Lage des Tumors bestimmen die Dissektionsstrategie. Bei Makroadenomen beginnt die Tumordissektion in der Regel am basalen Teil des Tumors. Intratumorales Debulking kann die Identifizierung der Pseudokapsel erleichtern und eine anschließende extrakapsuläre Dissektion ermöglichen [54]. Mit verschiedenen abgewinkelten Küretten wird eine schrittweise bimanuelle Dissektion in kaudaler bis kranialer Richtung durchgeführt. Mit dem Sauger in der einen und der Kürette in der anderen Hand kann der Chirurg mit nur leichtem Zug unter Anwendung eines Gegenzugs dissezieren, wie er üblicherweise bei transkraniellen mikrochirurgischen Eingriffen angewendet wird, um das Einreißen neurovaskulärer Strukturen oder der Arachnoidea am sellären Eingang zu vermeiden. Die mediale Wand des Sinus cavernosus muss identifiziert werden. Nach Entfernung des intrasellären Tumors muss der supraselläre Tumor schrittweise entfernt werden. Die frühzeitige Identifizierung des Diaphragma sellae kann eine Liquorfistel verhindern. Es ist darauf zu achten, den Resttumor von der gesunden Hypophyse zu unterscheiden. Das originäre Hypophysengewebe ist in der Regel gelblicher und unterscheidet sich in der Konsistenz. Wenn die Tumorentfernung als vollständig angenommen werden kann, sollte das abgewinkelte Endoskop eingesetzt werden, um mit einem Panoramablick in alle Richtungen zu bestätigen, dass kein Resttumor zurückgeblieben ist. Wird beim präoperativen MRT eine Infiltration des Sinus cavernosus festgestellt [55], kann die Tumorresektion fortgesetzt werden, indem entweder nur der Tumor mit der Kürette verfolgt oder die mediale Wand des Sinus cavernosus entfernt wird [56]. Bei der Tumorresektion im Sinus cavernosus muss das Risiko der Verletzung der Arteria carotis und potentieller kranialer Neuropathien der Hirnnerven mit dem Nutzen der weiteren Resektion abgewogen werden. In der Regel werden hormonaktive Tumore, bei denen es auf eine Normalisierung des Hormonexzesses ankommt aggressiver resiziert. Es werden Unterschiede im Erreichen des Ausmaßes der Resektionen beschrieben, je nachdem, ob der Tumor in den Sinus cavernosus superior (Knosp 3A) oder in den Sinus cavernosus inferior (Knosp Grad 3B) hineinreicht [57]. Bei Tumoren, die den Sinus cavernosus superior infiltrieren, waren die Raten der endokrinologischen Remission/Gesamtresektion bei Hypophysenadenomen des Grades 3A signifikant höher als bei Grad 3B [57]. Bei Knosp Grad 1–3 Adenomen, die vollständig reseziert wurden bestätigte die histologische Beurteilung der medialen Wand des Sinus cavernosus eine Invasion in 93 % der nicht funktionellen Adenome und in 83 % der funktionellen Adenome [58]. Sichere Techniken zur Maximierung des Ausmaßes der Resektion durch die mediale CS-Wand bei gleichzeitiger Minimierung des Risikos einer kranialen Neuropathie und des Blutverlusts wurden von mehreren Gruppen beschrieben [56, 59]. Wenn eine schonende Dissektion unter ständiger Visualisierung erfolgt, können Patienten mit hormonaktiven Adenomen (GH-Adenome und ACTH-Adenome) von der Resektion des Tumors aus dem medialen Sinus cavernosus ohne erhöhte Morbidität oder Mortalität profitieren. Wenn sich Tumore in die lateralen Kompartimente des Sinus cavernosus ausdehnen, können adjuvante Behandlungsstrategien (z. B. Radiochirurgie) erforderlich sein. In jedem Fall sollte die Resektion von erfahrenen Chirurgen durchgeführt werden.

2.2.3.4 Verschluss- und Rekonstruktionstechniken

Je nach Größe und Wachstumsrichtung des Hypophysenadenoms sollte die Wahrscheinlichkeit einer intraoperativen Liquorfistel, insbesondere einer High-Flow-Liquorfistel, im Voraus berücksichtigt werden. Bei Hypophysenadenomen mit anteriorer Wachstumsrichtung und/oder einer sehr großen supraselläre Tumorausdehnung besteht das Risiko eines intraoperativen Liquorlecks, das eine spezielle Rekonstruktion erforderlich macht. Daher muss vor Beginn der Operation eine Strategie für eine geeignete Defektdeckung erwogen werden. Manchmal ist es einfacher, den gestielten mukochondroperiostialen Lappen während der nasalen Phase der Operation zu heben, insbesondere bei Patienten mit Anomalien der Nasenscheidewand, als einen Rescuelappen nach der Resektion eines sehr großen supraselläre Hypophysenadenoms zu präparieren. Die Vorbereitung und das Abdecken von Regionen, an denen das Defektdeckungsmaterial entnommen werden kann (Bauchfett, Fascia lata), erfolgen am besten zu Beginn der Operation und nicht erst in einer späteren Phase des Eingriffs. Fascia lata ist ein sehr robustes und sicheres Material für die Durarekonstruktion, das als Inlay- oder Onlay-Transplantat entweder als autologes Transplantat oder als kommerziell erhältliches Material verwendet werden kann. Fett sollte zum Auffüllen großer Toträume verwendet werden. Knöchernes Material, das während des Zugangs entfernt wurde, stützt die Rekonstruktion, wenn es am umgebenden Knochen anliegt, bzw. unter den Knochenrändern verkeilt wird.

2.2.4 Transplanum-Transtuberculum-Zugang

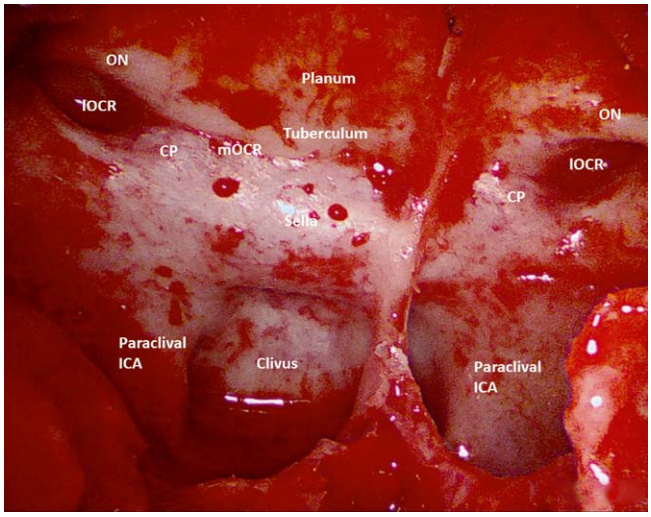
Rostral verlaufende supraselläre Läsionen (▶ **Abb. 4**) und große supraselläre Tumoren, die in Richtung des dritten Ventrikels oder in diesen hineinwachsen, sind unter Umständen über einen transsellären Zugang nicht sicher zu entfernen. Es hat sich gezeigt, dass mit der Erweiterung des chirurgischen Zugangs durch das Planum sphenoidale und das Tuberculum sellae diese Läsionen sicher zu entfernen sind und Vorteile gegenüber der transkraniellen Chirurgie bietet, da kosmetische Deformierungen und Retraktionen des Gehirns bzw. des Chiasmas oder der Sehnerven vermieden werden. Die rostrale Erweiterung über endoskopische endonasale transselläre, transtuberkuläre, transplanale Zugänge kann somit einen sicheren und praktikablen Weg für supraselläre Läsionen in subchi-



▶ **Abb. 4** Sich rostral erstreckendes inaktives Hypophysenmakroadenom, das über einen Transplanum-Transtuberculum-Zugang operiert wurde. Präoperatives MRT mit Kontrastmittel in sagittaler (**a**) und koronaler (**b**) Ebene, **c** intraoperative supradiaphragmatische Ansicht mit Darstellung der beiden A2-Arterien (A2) und der vorderen interhemisphärischen Fissur. Postoperatives MRT in sagittaler (d) und coronaler Darsstellung (e) mit Kontrastmittel.

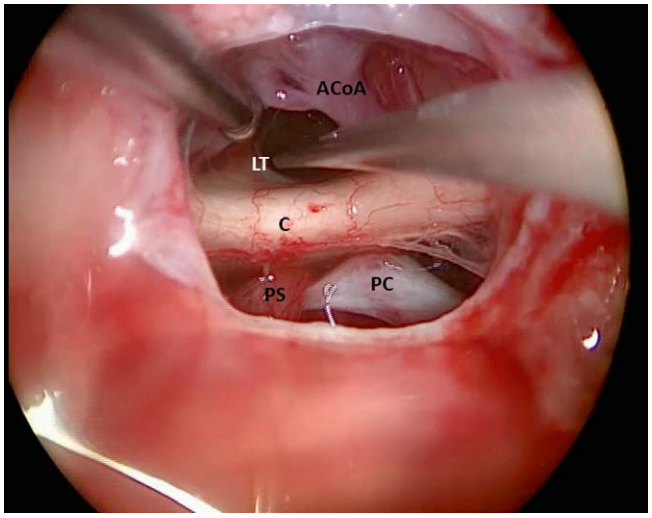
asmatischen, suprachiasmatischen und intraventrikulären Regionen bieten [60]. Indikationen für einen Transplanum-Transtuberculum-Zugang sind große und rostral verlaufende Hypophysenadenome, Kraniopharyngeome, Meningeome des Planum und Tuberculum sellae. Die Patientenpositionierung ist ähnlich wie beim transsellären Zugang mit scharfer Fixierung in der Mayfield-Klemme. Die Operation sollte unter Nutzung der Navigation durchgeführt werden. Die präoperative CT-Diagnostik ermöglicht bereits präoperativ die Anatomie des Sinus sphenoidalis zu analysieren und Auffälligkeiten zu erkennen. Z.B. muss bei einem wenig pneumatisierten Sinus sphenoidalis (conchal type sinus) mit erhöhtem Zeitaufwand zum Fräsen gerechnet werden. In ausgewählten Fällen kann ein intraoperatives neurophysiologisches Moitoring mittels SSEP's und VEP's sowie das Monitoring der Hirnnerven für die Okulomotorik hilfreich sein. Es wird empfohlen, intraoperativ einen Mikrodoppler zu verwenden, um die Arteria carotis und die Arteria ophthalmica zu identifizieren und vaskuläre Komplikationen zu vermeiden. Der Zugang kann durch medialisierte (kissing) Karotiden mit reduziertem Interkarotisabstand eingeschränkt sein.

Nach Durchführung eines sellären Zugangs wird der über dem Tuberculum und Planum liegende Knochen mit einer 4-mm-Diamantfräser aufgefräst. Das Fräsen des Knochens erfolgt rostral entlang des Planums bis zur Höhe der hinteren Siebbeinarterien um die Mukosa der Nase sowie die Riechfasern zu schonen. Wichtige anatomische Landmarken sind die Karotisprotuberanz, der mediale und laterale OCR, der mittlere Clinoidalfortsatz, die Rezessus des Clivus, die Sehnerven, die laterale Crista tuberculatis, der laterale Recessus tuberculatis und der Verlauf der Arteria carotis [60]. Der Knochen wird mit der Fräse ausgedünnt (egg shell thinning) und entweder mit einem Dissektor oder mit einer 1 mm großen 45-Grad-Kerrison-Stanze (▶ **Abb. 5**) abgehoben. Die Dura sollte zunächst intakt bleiben. Anschließend wird der über dem Sehnerv liegende Knochen oberhalb und seitlich der Sella sowie des Tuberculum mit 2-mm- und 4-mm-Diamantbohrern entfernt. Eine kontinuierliche Spülung mit Kochsalzlösung ist wichtig, um eine thermische Schädigung des Sehnervs zu vermeiden. Zu beachten ist, dass die ACI manchmal nur sehr dünn oder gar nicht knöchern bedeckt ist. Die Duraeröffnung erfolgt durch eine gerade Inzision in der Mittellinie von kaudal nach kranial bis auf Höhe des Sinus intercavernosus superior. Dann wird der Duraeinschnitt oberhalb des superioren Sinus intercavernosus fortgesetzt. Der Sinus intercavernosus wird mit einer bipolaren Pinzette koaguliert und scharf durchtrennt. Tritt eine venöse Blutung auf, wird ein Hämostatikum (z. B. Floseal) zur ausreichenden Blutstillung verwendet. Die Dura



▶ **Abb. 5** Knöcherne Freilegung beim Transplanum-Transtuberculum-Zugang. Wichtige Orientierungspunkte sind beide Carotis-Prominenzen, der mediale und laterale OCR, das Tuberculum und das Planum. ON Nervus opticus, lOCR lateraler optokarotischer Rezessus, CP Prominenz der A. carotis, mOCR medialer optokarotischer Rezessus, ICA Arteria carotis interna

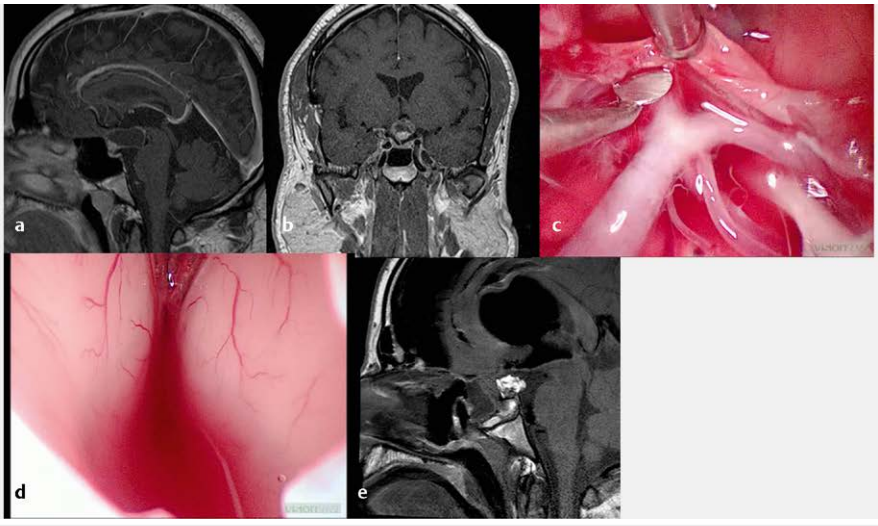
Inzision des Planums wird nach beiden Seiten lateralisiert (Y-shape Inzision), um die Arteria carotis mit dem Ursprung der Arteria ophthalmica zu identifizieren. Die Arachnoidea der Cisterna subchiasmatica wird vorsichtig eröffnet. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die Äste der Arteria hypophysialis superior, die das Chiasma versorgen, nicht verletzt werden (▶ **Abb. 6**). Die Tumorentfernung erfolgt durch bimanuelle Dissektion, wie es auch bei der transkraniellen Chirurgie Standard ist. Der Assistent, führt das Endoskop und sorgt durch eine Spülung für eine saubere Darstellung des OP-Gebietes. Das zentrale Debulking des Tumors ermöglicht eine schrittweise extrakapsuläre Dissektion. Die Identifizierung und Erhaltung des Hypophysenstiels ist von Bedeutung. Seitlich kann der N. Okulomotorius identifiziert werden. Wird die Dissektion von der Basilarspitze mit dem ventralen Hirnstamm durchgeführt, trifft man sowohl auf die hinteren Hirnarterien als auch auf die supracerebellären Arterien (▶ **Abb. 7a-c**). Erstreckt sich die Läsion in den dritten Ventrikel, ist eine sehr sorgfältige Dissektion der Ventrikelwand und des Hypothalamus erforderlich (▶ **Abb. 7d**).



▶ **Abb. 6** Intradurale Freilegung nach Durchführung eines Transplanum-Transtuberculum-Zugangs für einen suprachiasmatischen Zugang zu einer Läsion im dritten Ventrikel. C-Chiasma, PS-Hypophysenstiel, PC hinterer Clinoidalfortsatz, ACoA- vorderer Kommunikationsarterienkomplex, LT-Lamina terminalis

Eine suprachiasmatische Dissektion kann bei Läsionen mit suprachiasmatischer Ausdehnung erforderlich sein. Dabei sollte der vordere Arterienkomplex identifiziert und eine Verletzung der Arterien vermieden werden. Vorsicht ist geboten hinsichtlich der Arteria recurrens (z. B. Heubner-Arterie).

Die Defektdeckung kann aufgrund der Größe des Defekts und des hohen Liquorflusses eine besondere Herausforderung darstellen. Beim Transplanum-Transtuberculum-Zugang wird in der Regel ein gestielter Mukochondroperiostlappen während des Zugangs vom Nasenseptum disseziert, der an der A. spehnopalatina gestielt ist. Weiteres autologes Gewebe sind Fett und oder Faszia lata, die je nach Bedarf präpariert werden. Eine Lumbaldrainage wird vor Beginn der Operation gelegt und während der Operation geöffnet, wenn der Knochen des Planums sphenoidale aufgefräst wird und die Dura durchtrennt wird. In der Regel wird eine 3-lagige Rekonstruktion durchgeführt. Zum Auffüllen von Totraum wird Fett eingebracht. Fascia lata ist ein sehr robustes und sicheres Material zur Durarekonstruktion. Es kann als Inlay verwendet werden, wird unter die Ränder der Dura geschoben Onlay (unter dem Knochenrand auf der Dura) und mit einer dünnen Schicht Fibrinkleber fixiert. Anschließend wird eine knöcherne Rekonstruktion durchgeführt, wobei, wenn möglich, der transplantierte Knochen aus dem Septum sphenoidale oder der Nasenscheidewand an den umgebenden Knochen angelegt wird. Falls vorhanden, wird ein Stück Fascia lata als Overlay über den Defekt gelegt. Der vaskularisierte Lappen wird so platziert, dass er den gesamten Defekt abdeckt. Für die Rekonstruktion der Nasenscheidewand wird ein „reverse flap“ präpariert



▶ **Abb. 7** Präoperatives kontrastverstärktes sagittales (**a**) und koronales (**b**) MRT mit Darstellung eines rezidivierenden Kraniopharyngeoms nach vorausgegangener transkranieller Operation und Strahlentherapie mit Ausdehnung in Richtung 3. Ventrikel, **c** intraoperativer Blick auf die Basilarspitze mit der linken hinteren Hirnarterie und der Dissektion der Tumorkapsel von der rechten hinteren Arterie, **d** Blick in den 3. Ventrikel nach Tumorentfernung mit Darstellung des Plexus chorioideus, E postoperatives sagittales MRT mit Fetttransplantat zum Auffüllen des Totraums.

und Silikon Splinte verwendet, um die Heilung der Nasenschleimhaut zu fördern.

2.2.5 Transclivaler Zugang

Indikationen für den transclivalen Zugang sind selläre Läsionen mit kaudaler Ausdehnung oder infraselläre Läsionen mit rostraler Ausdehnung, wie Hypophysenadenome, Chordome oder Chondrosarkome. Ausgewählte Fälle von intraduralen Pathologien der hinteren Schädelgrube können ebenfalls eine Indikation für den transclivalen Zugang sein (z. B. (petro)clivale Meningeome).

Die chirurgische Lagerung und Vorbereitung ist ähnlich wie beim Transplanum-Transtuberculum-Zugang. Binostrile Dissektion und die Nutzung der Navigation wird empfohlen. Nach der standardisierten Resektion der Vorderwand des Sinus sphenoidalis mit einer 4 mm Diamantfräse muss der Boden des Sinus sphenoidalis freigelegt werden. Um Zugang zu den kaudalen Teilen der Läsionen zu erhalten, sollte das Rostrum des Sinus sphnoidalis weit nach kaudal abgefräst werden und der Keilbeinboden ausgedünnt werden, bzw. die intrasphenodialen Septen abgefräst werden, um die Manövrierbarkeit der Instrumente zu verbessern.

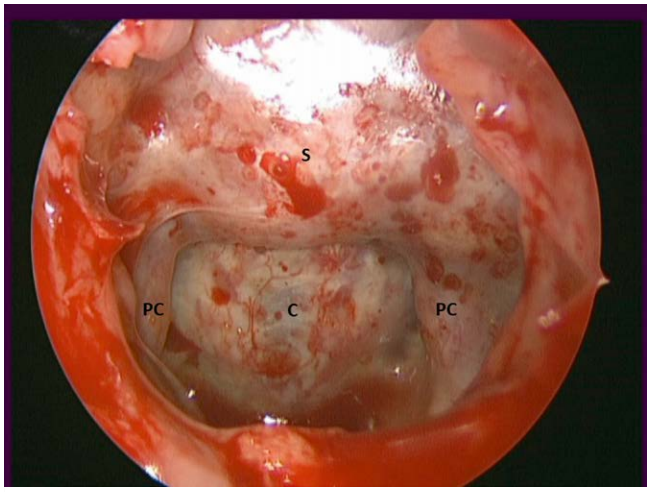
Wichtige Orientierungspunkte für den transclivalen Zugang sind der Sellaboden und die paraclivale Arteria carotis interna (ACI) auf beiden Seiten (▶ **Abb. 8**). Die Anatomie des Sinus sphenoidalis muss im präoperativen CT überprüft werden, wobei der Grad der Pneumatisierung des Sinus sphenoidalis bei der Beurteilung des Umfangs der Knochenentfernung hilfreich sein kann.

Der transclivale Zugang kann in einen oberen, mittleren und unteren unterteilt werden [61]. Beim oberen Zugang wird die Sella aufgefräst. Die Dura mater der Sella besteht aus zwei Schichten. Die äußere oder periostale Schicht erstreckt sich zwischen der vorderen Oberfläche der Hypophyse und der parasellären und paraclivalen ACI und bildet somit die vordere Wand des Sinus cavernosus. Die innere/meningeale Schicht bedeckt die Kapsel der Hypophyse und bildet gleichzeitig die mediale Wand des Sinus cavernosus.

Der obere clivale Zugang ermöglicht den Zugang zur Cisterna interpeduncularis, zur Basilarisspitze, zu den Corpora mammillaria und zum Boden des dritten Ventrikels. Der Zugang zur Cisterna interpeduncularis und zum Mittelhirn erfordert in der Regel eine posteriore Clinoidektomie, die je nach Pathologie ein- oder beidseitig erfolgen kann. Die Entfernung der hinteren Clinoidfortsätze erfordert in den meisten Fällen eine Transposition der Hypophyse, die extradural, interdural oder intradural durchgeführt werden kann [61]. Die interdurale Hypophysentransposition bietet einen Zugang durch den Sinus cavernosus zu paramedianen Läsionen innerhalb oder hinter dem Parasellarraum, wie para-/retro-/supraselläre Ausdehnungen von Chordomen oder Chondrosarkomen. Dieser Ansatz erfordert die Mobilisierung oder Koagulation der ipsilateralen Arteria hypophysialis inferior [61].

Ein mittlerer transclivaler Zugang ermöglicht den Zugang zum ventralen Pons und zur präpontinen Zisterne, zum Basilarisstamm und zur Arteria cerebelli anterior inferior sowie zum zisternalen Segment des Nervus abducens (▶ **Abb. 9**). Der Clivus wird seitlich durch die paraclivalen ACIs und die petroclivalen Fissur begrenzt. Seitlich wird die mittlere transclivale Exposition durch das interdurale Segment des Nervus abducens begrenzt.

Der untere transclivale Zugang ermöglicht die Exposition der Cisterna prämedullaris, der ventralen Medulla oblongata, der Vertebralarterien und der A. basilaris, der Arteria cerebelli inferior posterior (PICA) sowie die Hirnnerven IX-XII [61]. Der untere transclivale Zugang kann bei Läsionen des kraniozervikalen Übergangs und zur Behandlung von Pathologien unterhalb des Foramen magnums bis auf Höhe des Odontoids angewendet werden. Die untere Grenze eines endonasalen unteren transclivalen Zugangs wird durch den harten Gaumen bestimmt, wobei die nasopalatine Linie zur präoperativen Abschätzung des kaudalen Resektionsausmaßes genutzt werden kann.



▶ **Abb. 8** Intraoperative Ansicht des mittleren Clivus mit beiden paraclivalen Karotisarterien, S-Sella, PC paraclivale Karotisarterie, C-Clivus.

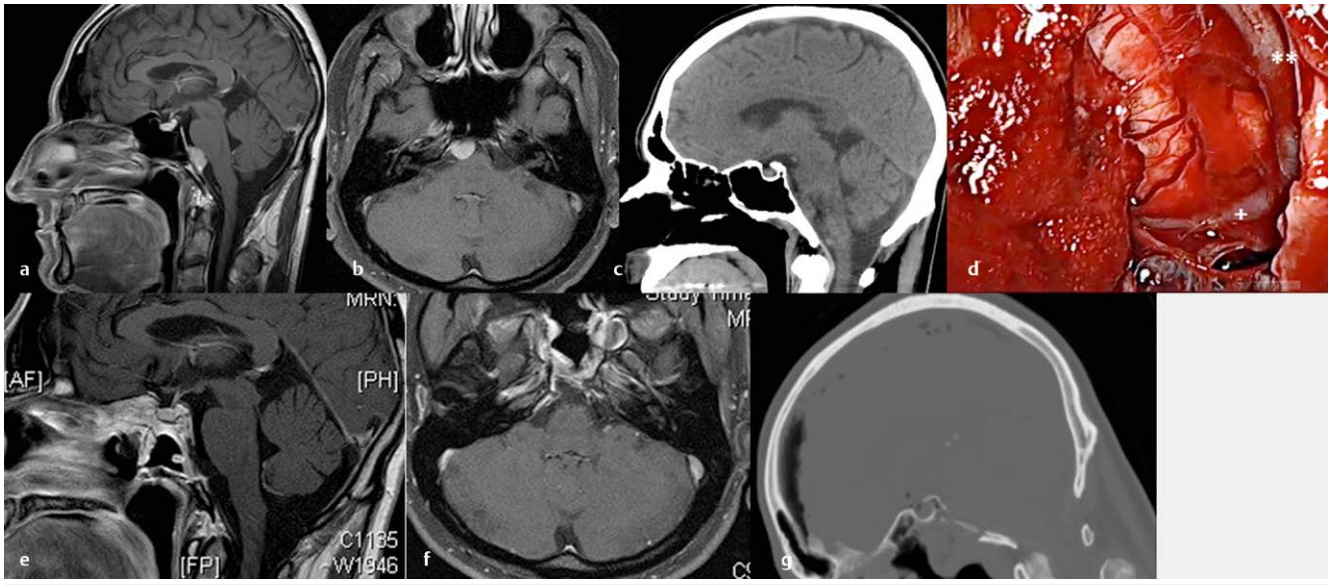
2.3 Koronale Zugänge

2.3.1 Mediale Maxillektomie, Fossa pterygopalatina und Fossa infratemporalis

Koronale Zugänge ermöglichen einen Zugang zu Schädelbasisläsionen mit seitlicher Ausdehnung im Bereich der Kieferhöhle, der Processus pterygoideus, der Orbita, der Keilbeinhöhle, des Felsenbeins und des Condylus occipitalis. Die jeweiligen Zugänge exponieren Pathologien entweder direkt oder werden als eine Art „Tür" zu dorsal und lateral gelegenen Regionen genutzt, um eine adäquate Exposition zu erreichen.

Die Kieferhöhle bietet im hinteren Bereich einen Zugang zur Fossa pterygopalatina und zur Fossa infratemporalis. Die endoskopische Eröffnung der medialen Wand der Kieferhöhle (mediale Maxillektomien) kann in 4 Typen unterteilt werden, die nach einem modularen Schema von einer weniger invasiven bis zu einer invasiveren Resektion reichen [62].

Die endoskopische mediale Maxillektomie Typ A setzt eine inferiore Uncinektomie voraus und hat als anatomische Grenzen kaudal den Ansatz der inferioren Nasenmuschel, superior den Orbitaboden posterior den Kanal der Arteria palatina descendens sowie anterior den Ductus nasolacrimalis. Bei der endoskopischen medialen Maxillektomie Typ B wird die untere Nasenmuschel entfernt, wobei die Hasner-Klappe ausgespart wird. Der Teil der medialen Wand hinter dem Tränennasengang wird vollständig entfernt und reicht bis zum Boden der Nasenhöhle. Bei der Maxillektomie Typ C werden der Tränennasengang und der verbleibende vordere Teil



▶ **Abb. 9** Mittlerer transclivaler Zugang zur Resektion eines clivalen Meningeoms. Präoperatives sagittales (**a**) und transversales (**b**) kontrastmittelverstärktes MRT und präoperative CT-Aufnahme, die die Beziehung des Sinus sphenoidalis zum Meningeom zeigt (**c**), **d** intraoperative Ansicht der ventralen Pons, * * Arteria basisilaris, + Arteria vertebralis, postoperative sagittale (**e**) und koronale (**f**) MRT-Aufnahme, die die vollständige Resektion zeigt, und ein postoperatives CT mit der knöchernen Rekonstruktion des Clivus (**g**).

der medialen Wand reseziert. Die endoskopische mediale Maxillektomie Typ D, auch als Denker- oder Sturmann-Canfield-Operation bezeichnet, sieht die Entfernung des anteromedialen Winkels der Kieferhöhle vor, mit dem Foramen infraorbitale als laterale Begrenzung. Die verschiedenen Verfahren bieten abgestufte Grade der endoskopischen Expositionen in medio-lateraler und kraniocaudaler Richtung. Insbesondere die mediale Maxillektomie Typ D bietet einen vollständigen Zugang zu den hinteren und seitlichen Wänden der Kieferhöhle, dem Orbitaboden sowie dem Recessus alveolaris und Recessus zygomaticus. Eine Variante dieser Verfahren ist der prälakrimale Zugang, bei dem der mediale knöcherne Rand der Apertura piriformis entfernt wird, wobei der Tränenkanal erhalten bleibt, nach medial verlagert und am Ende des Eingriffs neu repositioniert wird [63–67]. Diese Technik verringert das Risiko einer Tränenwegsstenoses und ermöglicht eine ähnliche endoskopische Sicht wie Maxillektomien vom Typ C und D, während sie gleichzeitig einen begrenzten Arbeitsraum bietet und eine geringere postoperative Nachsorge erfordert.

Sobald die hinteren Wände der Kieferhöhle entfernt sind, können infrakranielle Räume wie die Fossa pterygopalatina und die Fossa infratemporalis dargestellt werden. Die Fossa pterygopalatina ist eine enge Cavität, die posterior durch den Processus pterygoideus, anterior durch die hintere Wand der Kieferhöhle, anteromedial durch den Processus perpendicularis des Gaumens und lateral durch die Lamina pterygoidea lateralis und die hintere Wand der Kieferhöhle (Fissura pterygomaxillaris), begrenzt wird.

Man kann die Fossa pterygopalatina als eine Art Kreuzung zwischen der Nasenhöhle, der Kieferhöhle, der Fossa infratemporalis und der Orbita bezeichnen, die zahlreiche neurovaskuläre Strukturen wie den 2. Ast des Nervus trigeminus (Nervus maxillaris), das Ganglion pterygopalatinum sowie den Tractus pterygopalatinus der Arteria maxillaris interna Äste enthält.

In der Fossa pterygopalatina können sich eine Vielzahl von Läsionen entwickeln, zu denen hauptsächlich juvenile Angiofibrome [68, 69], Schwannome des Nervus Vidianus und des Nervus maxillaris [70–73], fibro-ossäre Läsionen und Hämangiome [74] gehören.

Die Eröffnung der Fossa pterygopalatina beginnt mit der Entfernung der Hinterwand der Kieferhöhle und des Processus perpendicularis, wobei darauf zu achten ist, dass das Periost nicht verletzt wird. In der Regel wird die Dissektion am Foramen sphenopalatinum begonnen. Die seitliche Begrenzung der Fossa folgt dem Canalis infraorbitalis und reicht bis zur hinteren Wand der Kieferhöhle im hinteren Bereich [75]. Den Eingang bildet die Fissura pterygomaxillaris. Das Periost wird eingeschnitten und zusammen mit dem darunter liegenden Fett vorsichtig entfernt, um nach und nach den pterygopalatinen Trakt der Arteria maxillaris interna und ihre Äste, die Nervenstrukturen vor dem Processus pterygoideus und den kranialen Ansatz des Musculus pterygoideus lateralis an der gleichnamigen knöchernen Lamina und dem großen Flügel des Sphenoids zu exponieren. Im hinteren Bereich liegen der Nervus Vidianus und das Foramen rotundum frei, wenn der Inhalt der Fossa entfernt oder nach lateral verlagert wird [76].

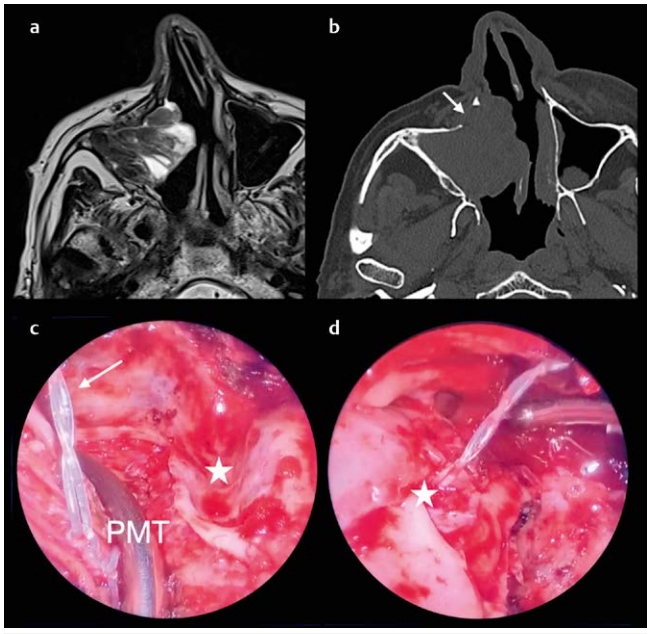
Die Fossa infratemporalis ist ein anatomischer Raum, dessen Grenzen der größere Flügel des Keilbeins und des Schläfenbeins (Pars squamosa) im oberen Bereich, die laterale Pterygoidplatte und das Tuberculum maxillare im mittleren Bereich, der Jochbogen, die Fossa temporalis und der Ramus mandibularis im seitlichen Bereich und der obere Parapharyngealraum im hinteren Bereich darstellen. Sie kommuniziert mit angrenzenden Räumen wie lateral mit der Fossa temporalis und medial mit der Fossa pterygopalatina [77, 78]. Aufgrund dieser engen Beziehungen können Läsionen, die außerhalb der Fossa infratemporalis entstehen, in diese eindringen, typischerweise sind dies gutartige Läsionen aus der Fossa pterygopalatina. Läsionen, die direkt aus der Fossa stammen,

können sich auch nach außen ausbreiten, wie Schwannome des 3. Trigeminusastes (Nervus mandibularis) und Sarkome [79]. Es werden drei Präparationskorridore innerhalb der Fossa infratemporalis beschrieben [80]. Der laterale Korridor legt den Processus coronoideus durch die Bäuche des Musculus temporalis frei. Der mittlere Korridor erreicht die Vorderseite des Kiefergelenks, indem er den Raum zwischen dem Musculus temporalis und dem Musculus pterygoideus lateralis nutzt. Der mediale Korridor verläuft zwischen dem Musculus pterygoideus lateralis und der lateralen Pterygoidplatte und legt den Nervus mandibularis, die Arteria meningea media und das Kiefergelenk frei.

Bei Läsionen der Fossa pterygopalatina und der Fossa infratemporalis muss die Vaskularisierung des Tumors berücksichtigt werden. Besonders bei juvenilen Angiofibromen [69] ist eine präoperative Embolisation für eine sichere und vollständige Entfernung indiziert. Wie bei fast allen klinischen Entitäten, die die Schädelbasis betreffen, ist daher ein multidisziplinäres Management von entscheidender Bedeutung, wobei die Operation in spezialisierten Zentren durchgeführt wird, die über alle erforderlichen Möglichkeiten verfügen [81] (▶ **Abb. 10**).

2.3.2 Transpterygoidale Zugänge

Die Dissektion des Processus pterygoideus des Keilbeins ermöglicht den Zugang zu mehreren anatomischen Bereichen. Der obere transpterygoidale Zugang ermöglicht es, medial den Keilbeinboden, lateral den großen Flügel des Keilbeins, superior die Fissura orbitalis superior und inferior die Fossa scaphoidea zu erreichen. Der untere transpterygoidale Zugang ermöglicht superior die Darstellung der Basis des Processus pterygoideus, lateral des Musculus pterygoideus lateralis, inferior der pterygomaxillären Verbindung und medial des Nasopharynx. Die transpterygoidalen Zugänge nutzen den Korridor, den die Kiefer- und Keilbeinhöhlen bieten; daher sind eine mediale Maxillektomie (in der Regel Typ B-C) und eine Eröffnung der Keilbeinhöhle (in der Regel über einen transrostralen Zugang) zumeist notwendige Operationsschritte.

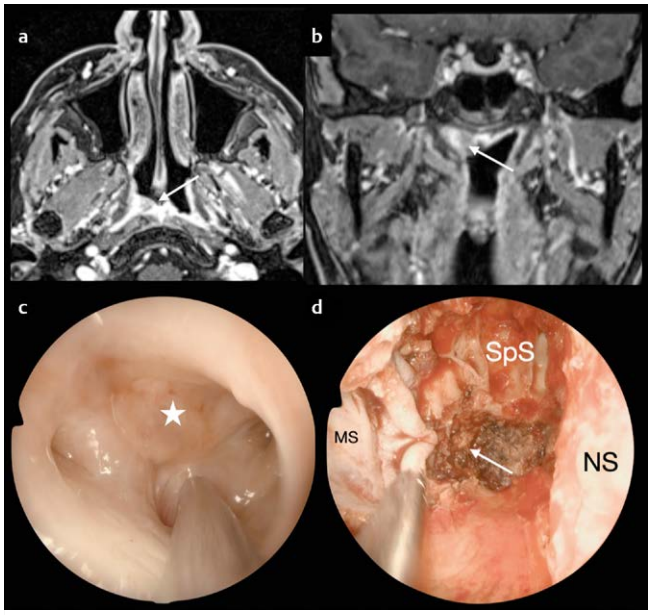


▶ **Abb. 10** Fall eines rezidivierenden invertierten Papilloms der Kieferhöhle mit anteriorem Ansatz (Bilder **a** und **b**). Bild B zeigt einen Defekt der vorderen Wand der Kieferhöhle (weißer Pfeil), der auf frühere transvestibuläre Operationen zurückzuführen ist. Es wurde eine endoskopische Maxillektomie vom Typ **D** durchgeführt, die auch die Entfernung des anteromedialen Winkels des Oberkieferknochens umfasste. Bild **c** zeigt die prämaxillären Weichteile (PMT), die aus onkologischen Gründen teilweise entfernt wurden, und die vollständige Freilegung der Kieferhöhle. Der weiße Pfeil weist auf den Recessus alveolaris hin, der Pfeil zeigt auf den Recessus zygomaticus. Der Stern in Bild **d** zeigt den Tränensack im Schnitt, durch den der Tränenkanalstent verläuft.

Oberer transpterygoidaler Zugang: Der obere transpterygoidale Zugang wird in der Regel bei Läsionen durchgeführt, die den seitlichen Aspekt des Sinus cavernosus und des Cavums Meckeli (zB.Hypophysentumore, Meningeome und neurogene Tumore) sowie den Recessus lateralis der Keilbeinhöhle (z. B. Meningozelen) betreffen. Der Zugang umfasst die Entfernung der hinteren medialen Wand der Kieferhöhle und des orbitalen Prozesses des Os palatinums, um die Fossa pterygopalatina zu exponieren. Sobald die neurovaskulären Strukturen disseziert sind, wird der Inhalt der Fossa pterygopalatina je nach Pathologie und der Notwendigkeit der Resektion entweder nach lateral verlagert oder entfernt. Der Nervus Vidianus kann entweder erhalten oder geopfert werden und er dient posterior als anatomische Landmarke um die Arteria carotis interna im Bereich des Foramen lacerums zu identifizieren. Die Fissura orbitalis inferior kann ebenfalls durchtrennt werden, was den Vorteil bietet, den Nervus mandibularis vom Ganglion Gasseri bis zur Fossa infratemporalis freizulegen [82–84]. Das Abfräsen der Basis des Pterygoids in Kombination mit der Entfernung der vorderen Wand des Sinus sphenoidalis ermöglicht die Freilegung der lateralen Wand des Sinus sphenoidalis sowie des Recessus lateralis. Je nach Indikation und zu behandelnder Pathologie kann der Zugang mit einem klassischen transsellären Zugang kombiniert werden, der nach lateral erweitert wird.

Die Anatomie dieses Bereichs ist besonders komplex, was die Operation zu einer besonderen Herausforderung macht. Spezielle technische Hilfsmittel unterstützen den Chirurgen, z.B.bei Operationen im Sinus cavernosus muss die venöse Blutung mit hämostatischen Mitteln kontrolliert werden. Der Einsatz des Dopplers ermöglicht die korrekte Erkennung der Arteria carotis interna. Neuromonitoring ist obligatorisch, um die Morbidität im Zusammenhang mit den Hirnnerven, insbesondere den Hirnnerven III, IV und VI, bei der Dissektion des Sinus cavernosus zu minimieren.

Unterer transpterygoidaler Zugang: Die Dissektion des kaudalen Teils des Processus pterygoideus ermöglicht den Zugang zum oberen Teil des Parapharyngealraums. Es handelt sich um einen Raum in Form einer umgekehrten Pyramide [77], dessen Grenzen posterior der Prävertebralraum, anterolateral die Fossa infratemporalis und die Fossa submandibularis, posterolateral der Parotisraum zusammen mit den Lymphknotenebenen IB und IIA und medial der Nasopharynx und Oropharynx sind [85]. Er kann in obere, mittlere und untere Abschnitte unterteilt werden, basierend auf horizontalen axialen Ebenen, die durch den unteren Rand der Lamina pterygoidea lateralis und die Mandibulawinkel verlaufen [85, 86]. Darüber hinaus kann er auch durch eine Ebene, die durch den Processus styloideus verläuft, in ein prästyloidales und ein retrostyloidales Kompartiment unterteilt werden [77]. Das Areal von



▶ **Abb. 11** Fall eines rezidivierenden Nasopharynxkarzinoms. Die primäre Läsion wurde mit einer Radiochemotherapie behandelt. Der Patient entwickelte ein Rezidiv in der rechten Fossa Rosenmuller (Pfeile in Bild **a**-**b** und Stern in Bild **c**). Er unterzog sich einer endoskopischen Nasopharyngektomie Typ 3 mit Durchtrennung der Eustachischen Röhre (weißer Pfeil in **d**). MS - Kieferhöhle; NS - Nasenscheidewand; SpS - Keilbeinhöhle.

größtem klinischen Interesse, das endoskopisch erreicht werden kann, ist der obere Parapharyngealraum, der in einen medialen und einen lateralen Bereich mit den entsprechenden chirurgischen Korridoren unterteilt wird. Der mediale Zugang ermöglicht die Kontrolle der Eustachischen Röhre und der zugehörigen Muskeln, während der laterale Zugang eine adäquate Sicht auf die Arteria carotis interna und das Foramen jugulare sowie die zugehörigen neurovaskulären Strukturen ermöglicht.

Typische Läsionen in diesem Bereich sind Nasopharynxkarzinome. Undifferenzierte Nasopharynxkarzinome werden in der Regel endoskopisch behandelt, wenn sie nach einer (Chemo-)Radiotherapie erneut auftreten. Bei anderen Histologien wie Speicheldrüsenkarzinomen und Melanomen kann die endoskopische Operation die primäre Behandlungsoption darstellen, gefolgt von einer adjuvanten Behandlung oder auch nicht [87–91].

Die nasopharyngeale endoskopische Resektion (NER) erfolgt über einen transnasalen Zugang zur Entfernung nasopharyngealer Läsionen, die den oberen Parapharyngealraum betreffen [87]. Die größte chirurgische Herausforderung besteht darin, Verletzungen des parapharyngealen Trakts der A. carotis interna zu vermeiden und gleichzeitig tumorfreie Operationsränder zu erzielen. Bei der Durchführung einer NER ist es von entscheidender Bedeutung, knöcherne Orientierungspunkte zu erkennen, Faszienebenen zu verstehen, die richtige endoskopische Perspektive zu verstehen und präoperative Bildgebungs- und Navigationsinstrumente in vollem Umfang anzuwenden, um die A. carotis interna zu lokalisieren und zu erhalten. Der Eingriff beginnt mit der Darstellung und Lateralisierung des Inhalts der Fossa pterygopalatina über einen transmaxillären Zugang. Die Lamina pterygoidea medialis des Os spheoidale wird entfernt, um den Musculus pterygoideus medialis, die Musculi tensor veli palatini und levator veli palatini sowie die Eustachische Röhre freizulegen. Die Arteria carotis interna liegt hinter der Eustachischen Röhre und die Lamina pterygoidea lateralis dient als Landmarke. Der Nervus Vidianus ist ein nützlicher Orientierungspunkt für das Foramen lacerum. Die Dissektion von Gewebe medial und inferior davon ist sicher vor Verletzungen der Carotis, außer in Fällen von ausgeprägten Knickstellen.

In ausgedehnten Fällen wird der transnasale Weg mit anderen Zugängen (d. h. transoral, transorbital, transzervikal und transpetrosal) kombiniert und in eine multiportale chirurgische Strategie integriert [92] (▶ **Abb. 11**).

Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

[1] Lund VJ et al. European position paper on endoscopic management of tumours of the nose, paranasal sinuses and skull base. Rhinol Suppl 2010; 22: 1–143

[2] Patel CR et al. Skull Base Anatomy. Otolaryngol Clin North Am 2016; 49: 9–20

[3] Verillaud B et al. Endoscopic endonasal skull base surgery. Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis 2012; 129: 190–196

[4] Kassam AB et al. Expanded endonasal approach: fully endoscopic, completely transnasal approach to the middle third of the clivus, petrous bone, middle cranial fossa, and infratemporal fossa. Neurosurg Focus 2005; 19: E6

[5] Kassam A et al. Expanded endonasal approach: the rostrocaudal axis. Part I. Crista galli to the sella turcica. Neurosurg Focus 2005; 19: E3

[6] Kassam A et al. Expanded endonasal approach: the rostrocaudal axis. Part II. Posterior clinoids to the foramen magnum. Neurosurg Focus 2005; 19: E4

[7] Schwartz TH et al. Endoscopic cranial base surgery: classification of operative approaches. Neurosurgery 2008; 62: 991–1002

[8] Schwartz TH, Morgenstern PF, Anand VK. Lessons learned in the evolution of endoscopic skull base surgery. J Neurosurg 2019; 130: 337–346

[9] Kasemsiri P et al. Advantages and limitations of endoscopic endonasal approaches to the skull base. World Neurosurg 2014; 82: S12–S21

[10] Snyderman CH et al. Endoscopic skull base surgery: principles of endonasal oncological surgery. J Surg Oncol 2008; 97: 658–664

[11] Kassam AB et al. Endoscopic endonasal skull base surgery: analysis of complications in the authors' initial 800 patients. J Neurosurg 2011; 114: 1544–1568

[12] Cavallo LM, Solari D, Cappabianca P. Multiportal Approach to the Skull Base: One Key, Multiple Gates. World Neurosurg 2015; 84: 630–631

[13] Turri-Zanoni M et al. Multiportal combined transnasal transoral transpharyngeal endoscopic approach for selected skull base cancers. Head Neck 2016; 38: E2440–e2445

[14] Sindwani R, Woodard TD, Recinos PF. Building a Successful Endoscopic Skull Base and Pituitary Surgery Practice. Otolaryngol Clin North Am 2016; 49: 1–8

[15] Cervantes SS, Lal D. Crista galli mucocele: endoscopic marsupialization via frontoethmoid approach. Int Forum Allergy Rhinol 2014; 4: 598–602

[16] Pinheiro-Neto CD et al. Endoscopic endonasal surgery for nasal dermoids. Otolaryngol Clin North Am 2011; 44: 981–987. Ix

[17] Selleck AM et al. Management of Frontal Sinus Tumors. Otolaryngol Clin North Am 2016; 49: 1051–1065

[18] Shidanshid M et al. Endoscopic resection of a mucocele of the crista galli. Ear Nose Throat J 2015; 94: E23–E25

[19] Ma J et al. Endoscopic transnasal repair of cerebrospinal fluid leaks with and without an encephalocele in pediatric patients: from infants to children. Childs Nerv Syst 2015; 31: 1493–1498

[20] Nyquist GG et al. Endoscopic endonasal repair of anterior skull base non-traumatic cerebrospinal fluid leaks, meningoceles, and encephaloceles. J Neurosurg 2010; 113: 961–966

[21] Re M et al. Endonasal endoscopic approach for intracranial nasal dermoid sinus cysts in children. Int J Pediatr Otorhinolaryngol 2012; 76: 1217–1222

[22] Karligkiotis A et al. Endoscopic endonasal orbital transposition to expand the frontal sinus approaches. Am J Rhinol Allergy 2015; 29: 449–456

[23] Belotti F et al. Transfrontal Approach, in Endoscopic Transnasal Anatomy of the Skull Base and Adjacent Areas, P. Nicolai, et al., Editors. Thieme; 2020 95:

[24] Greenfield JP et al. Endoscopic endonasal transethmoidal transcribriform transfovea ethmoidalis approach to the anterior cranial fossa and skull base. Neurosurgery 2010; 66: 883–892. discussion 892

[25] Verillaud B et al. Transcribriform and transplanum endoscopic approach for skull-base tumors. Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis 2013; 130: 233–236

[26] Koutourousiou M et al. Endoscopic endonasal surgery for olfactory groove meningiomas: outcomes and limitations in 50 patients. Neurosurg Focus 2014; 37: E8

[27] Fernandez-Miranda JC et al. Expanded endonasal approach for olfactory groove meningioma. Acta Neurochir (Wien) 2009; 151: 287–288. author reply 289-90

[28] de Divitiis E et al. Endoscopic transnasal resection of anterior cranial fossa meningiomas. Neurosurg Focus 2008; 25: E8

[29] Gardner PA et al. Endoscopic endonasal resection of anterior cranial base meningiomas. Neurosurgery 2008; 63: 36–52. discussion 52-4

[30] Blake DM et al. Endoscopic endonasal resection of sinonasal and anterior skull base schwannomas. J Clin Neurosci 2014; 21: 1419–1423

[31] Liu JK, Eloy JA. Expanded endoscopic endonasal transcribriform approach for resection of anterior skull base olfactory schwannoma. J Neurosurg 2012; 32: E3

[32] Vaz-Guimaraes F et al. Endoscopic endonasal surgery for epidermoid and dermoid cysts: a 10-year experience. J Neurosurg 2018; 1–11

[33] Castelnuovo P et al. Endoscopic endonasal surgery for malignancies of the anterior cranial base. World Neurosurg 2014; 82: S22–S31

[34] Krischek B et al. From craniofacial resection to endonasal endoscopic removal of malignant tumors of the anterior skull base. World Neurosurg 2014; 82: S59–S65

[35] Lund V, Howard DJ, Wei WI. Endoscopic resection of malignant tumors of the nose and sinuses. Am J Rhinol 2007; 21: 89–94

[36] Lund VJ, Wei WI. Endoscopic surgery for malignant sinonasal tumours: an eighteen year experience. Rhinology 2015; 53: 204–211

[37] Moya-Plana A et al. Development of minimally invasive surgery for sinonasal malignancy. Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis 2016; 133: 405–411

[38] Nicolai P et al. Endoscopic surgery for malignant tumors of the sinonasal tract and adjacent skull base: a 10-year experience. Am J Rhinol 2008; 22: 308–316

[39] Nicolai P, Castelnuovo P, Bolzoni Villaret A. Endoscopic resection of sinonasal malignancies. Curr Oncol Rep 2011; 13: 138–144

[40] Villaret AB et al. Endoscopic transnasal craniectomy in the management of selected sinonasal malignancies. Am J Rhinol Allergy 2010; 24: 60–65

[41] Hanna E et al. Endoscopic resection of sinonasal cancers with and without craniotomy: oncologic results. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 2009; 135: 1219–1224

[42] Meccariello G et al. Endoscopic nasal versus open approach for the management of sinonasal adenocarcinoma: A pooled-analysis of 1826 patients. Head Neck 2016; 38: E2267–E2274

[43] Liu JK et al. Transbasal versus endoscopic endonasal versus combined approaches for olfactory groove meningiomas: importance of approach selection. Neurosurg Focus 2018; 44: E8

[44] Ottenhausen M et al. Decision-making algorithm for minimally invasive approaches to anterior skull base meningiomas. Neurosurg Focus 2018; 44: E7

[45] Banu MA et al. Endoscope-assisted endonasal versus supraorbital keyhole resection of olfactory groove meningiomas: comparison and combination of 2 minimally invasive approaches. J Neurosurg 2016; 124: 605–620

[46] Tajudeen BA et al. Smell preservation following endoscopic unilateral resection of esthesioneuroblastoma: a multi-institutional experience. Int Forum Allergy Rhinol 2016; 6: 1047–1050

[47] Ferrari M et al. Transcribriform Approach, in Endoscopic Transnasal Anatomy of the Skull Base and Adjacent Areas, P. Nicolai, et al., Editors. 2020: 108–132

[48] Mattavelli D et al. Three-Layer Reconstruction with Iliotibial Tract After Endoscopic Resection of Sinonasal Tumors. World Neurosurg 2017; 101: 486–492

[49] Mattavelli D et al. Complications and donor site morbidity of 3-layer reconstruction with iliotibial tract of the anterior skull base: Retrospective analysis of 186 patients. Head Neck 2018; 40: 63–69

[50] Cappabianca P et al. Endoscopic endonasal transsphenoidal surgery: procedure, endoscopic equipment and instrumentation. Childs Nerv. Syst. 2004; 20: 796–801

[51] Conrad J et al. Binostril versus mononostril approaches in endoscopic transsphenoidal pituitary surgery: clinical evaluation and cadaver study. J Neurosurg 2016; 125: 334–345

[52] Reisch R, Briner HR, Hickmann AK. How I do it: the mononostril endonasal transethmoidal-paraseptal approach. Acta Neurochir (Wien) 2017; 159: 453–457

[53] Hadad G et al. A novel reconstructive technique after endoscopic expanded endonasal approaches: vascular pedicle nasoseptal flap. Laryngoscope 2006; 116: 1882–1886

[54] Oldfield EH, Vortmeyer AO. Development of a histological pseudocapsule and its use as a surgical capsule in the excision of pituitary tumors. J Neurosurg 2006; 104: 7–19

[55] Knosp E et al. Pituitary adenomas with invasion of the cavernous sinus space: a magnetic resonance imaging classification compared with surgical findings. Neurosurgery 1993; 33: 610–617. discussion 617-8

[56] Nagata Y et al. Removal of the Medial Wall of the Cavernous Sinus for Functional Pituitary Adenomas: A Technical Report and Pathologic Significance. World Neurosurg 2019; 126: 53–58

[57] Micko A et al. Challenging Knosp high-grade pituitary adenomas. J Neurosurg 2019; 1–8

[58] Cohen-Cohen S et al. The medial wall of the cavernous sinus. Part 2: Selective medial wall resection in 50 pituitary adenoma patients. J Neurosurg 2018; 1–10

[59] Woodworth GF et al. Surgical outcomes using a medial-to-lateral endonasal endoscopic approach to pituitary adenomas invading the cavernous sinus. J Neurosurg 2014; 120: 1086–1094

[60] Silveira-Bertazzo G et al. Expanded endoscopic endonasal approach for extending suprasellar and third ventricular lesions. Acta Neurochir (Wien) 2020; 162: 2403–2408

[61] Zwagerman NT et al. Endoscopic transnasal skull base surgery: pushing the boundaries. J Neurooncol 2016; 130: 319–330

[62] Schreiber A et al. Modular Endoscopic Medial Maxillectomies: Quantitative Analysis of Surgical Exposure in a Preclinical Setting. World Neurosurg 2017; 100: 44–55

[63] Zhou B et al. Intranasal endoscopic prelacrimal recess approach to maxillary sinus. Chin Med J (Engl) 2013; 126: 1276–1280

[64] Morrissey DK, Wormald PJ, Psaltis AJ. Prelacrimal approach to the maxillary sinus. Int Forum Allergy Rhinol 2016; 6: 214–218

[65] Suzuki M et al. Modified transnasal endoscopic medial maxillectomy through prelacrimal duct approach. Laryngoscope 2017; 127: 2205–2209

[66] Guo T et al. Endoscopic endonasal surgery for pterygopalatine fossa schwannoma via prelacrimal recess-maxillary sinus. B-ENT 2014; 10: 81–86

[67] He S et al. A combination of modified transnasal endoscopic maxillectomy via transnasal prelacrimal recess approach with or without radiotherapy for selected sinonasal malignancies. Eur Arch Otorhinolaryngol 2015; 272: 2933–2938

[68] Bertazzoni G et al. Contemporary management of juvenile angiofibroma. Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg 2019; 27: 47–53

[69] Langdon C et al. Expanded endoscopic endonasal surgery for advanced stage juvenile angiofibromas: a retrospective multi-center study. Rhinology 2016; 54: 239–246

[70] Karligkiotis A et al. Role of endoscopic surgery in the management of sinonasal and skull base schwannomas. Head Neck 2016; 38: E2074–E2082

[71] Shi J et al. Neuroendoscopic Resection of Trigeminal Schwannoma in the Pterygopalatine/Infratemporal Fossa via the Transnasal Perpendicular Plate Palatine Bone or Transnasal Maxillary Sinus Approach. World Neurosurg 2018; 120: e1011–e1016

[72] Yang L et al. Endoscopic endonasal approach for trigeminal schwannomas: our experience of 39 patients in 10 years. Eur Arch Otorhinolaryngol 2018; 275: 735–741

[73] Zhou B et al. The intranasal endoscopic removal of schwannoma of the pterygopalatine and infratemporal fossae via the prelacrimal recess approach. J Neurosurg 2016; 124: 1068–1073

[74] Battaglia P et al. Endoscopic transnasal approaches to pterygopalatine fossa tumors. Head Neck 2016; 38: E214–E220

[75] Elhadi AM et al. Infraorbital nerve: a surgically relevant landmark for the pterygopalatine fossa, cavernous sinus, and anterolateral skull base in endoscopic transmaxillary approaches. J Neurosurg 2016; 125: 1460–1468

[76] Nicolai P et al. Transpterygomaxillary Approach, in Endoscopic Transnasal Anatomy of the Skull Base and Adjacent Areas, P. Nicolai, et al., Editors. 2020: 271–288

[77] Stambuk HE, Patel SG. Imaging of the parapharyngeal space. Otolaryngol Clin North Am 2008; 41: 77–101. vi

[78] Dallan I et al. Endoscopic transnasal anatomy of the infratemporal fossa and upper parapharyngeal regions: correlations with traditional perspectives and surgical implications. Minim Invasive Neurosurg 2010; 53: 261–269

[79] Ohue S et al. Preauricular transzygomatic anterior infratemporal fossa approach for tumors in or around infratemporal fossa lesions. Neurosurg Rev 2012; 35: 583–592. discussion 592

[80] Hosseini SM et al. Endonasal transpterygoid approach to the infratemporal fossa: correlation of endoscopic and multiplanar CT anatomy. Head Neck 2012; 34: 313–320

[81] Schreiber A et al. Infratemporal Fossa Approach, in Endoscopic Transnasal Anatomy of the Skull Base and Adjacent Areas, P. Nicolai, et al., Editors. 2020: 289–306

[82] Schmidt RF et al. Surgical nuances for the endoscopic endonasal transpterygoid approach to lateral sphenoid sinus encephaloceles. Neurosurgical Focus FOC 2012; 32: E5

[83] R. V. et al. The Suprapetrous (Meckel's Cave) Approach, in Endoscopic Transnasal Anatomy of the Skull Base and Adjacent Areas, P. Nicolai, et al., Editors. 2020: Thieme; 374–375

[84] Rampinelli V et al. The Suprapetrous (Meckel's Cave) Approach, in Endoscopic Transnasal Anatomy of the Skull Base and Adjacent Areas, P. Nicolai, et al., Editors. 2020: Thieme; 374–375

[85] Ferrari M et al. Surgical anatomy of the parapharyngeal space: Multiperspective, quantification-based study. Head Neck 2019; 41: 642–656

[86] Prasad SC et al. Lateral skull base approaches in the management of benign parapharyngeal space tumors. Auris Nasus Larynx 2015; 42: 189–198

[87] Castelnuovo P et al. Endoscopic endonasal nasopharyngectomy in selected cancers. Otolaryngol Head Neck Surg 2013; 149: 424–430

[88] Liu J et al. Salvage endoscopic nasopharyngectomy for local recurrent or residual nasopharyngeal carcinoma: a 10-year experience. Int J Clin Oncol 2017; 22: 834–842

[89] Vlantis AC et al. Endoscopic nasopharyngectomy in recurrent nasopharyngeal carcinoma: a case series, literature review, and pooled analysis. Int Forum Allergy Rhinol 2017; 7: 425–432

[90] Ong YK et al. Endoscopic nasopharyngectomy and its role in managing locally recurrent nasopharyngeal carcinoma. Otolaryngol Clin North Am 2011; 44: 1141–1154

[91] Lepera D et al. Endoscopic transnasal resection of Eustachian-tube dermoid in a new-born infant. Auris Nasus Larynx 2015; 42: 235–240

[92] Schreiber A et al. Medial Parapharyngeal Approach, in Endoscopic Transnasal Anatomy of the Skull Base and Adjacent Areas, P. Nicolai, et al., Editors. 2020: 409–428