

## Bildgebung bei Hirntumoren

### Was gibt es Neues?

- Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist die Methode der ersten Wahl zur Beurteilung von Hirntumoren (**A**). Da sich die technischen Möglichkeiten durch besondere Sequenzen und durch die Einführung von Geräten mit hoher Feldstärke (3 T) in die klinische Routine vervielfältigt haben, wurde es erforderlich, Vor- und Nachteile technischer Neuerungen in der Diagnosestellung, zum Staging und in der Therapieevaluation von Hirntumoren zu überprüfen und einen Standard zu formulieren.
- Zum Routine-Staging von Hirntumoren sollte auch die Abklärung einer meningealen Dissemination bei bestimmten Tumoren gehören (**B**).
- Die postoperative Bestimmung eines Resttumors ist ein essenzieller Aspekt bei der Prognoseeinschätzung und der Beurteilung des Therapieansprechens geworden (**A**). Zur Definition eines postoperativen Resttumors ist der Vergleich mit präoperativen Bildern erforderlich. Zur Durchführung einer postoperativen Bildgebung ist die Berücksichtigung der strengen zeitlichen Vorgaben, nämlich innerhalb der ersten 3 Tage nach Operation, unabdingbar (**A**).
- Der Nachweis der Evidenz einer klinischen Effektivität diagnostischer Verfahren ist sehr schwer zu führen und muss nach Fryback u. Thornbury (1991) verschiedene Ebenen berücksichtigen:
  - Machbarkeit der Untersuchung
  - Reliabilität und Validität der Befundbeschreibung
  - Sensitivität, Spezifität und prognostischer Wert des Befundes
  - Wert des Befundes für die Diagnose
  - Wert der Diagnose für die Therapie
  - Wirksamkeit der Therapie
  - Nachweis einer verbesserten Lebensqualität durch eine Therapie, die durch die bildgebende Diagnostik ermöglicht wurde
  - Einfluss auf die Gesundheitskosten
 Da für die Diagnostik von Hirntumoren kontrollierte Studien zur klinischen Effektivität unterschiedlicher Bildgebungstechniken fehlen, beruhen die folgenden Empfehlungen übergreifend auf dem Konsensus neuroradiologischer Experten, die sich seit Jahrzehnten kritisch mit der Diagnostik und Verlaufskontrolle von Hirntumoren beschäftigen.

### Die wichtigsten Empfehlungen auf einen Blick

#### Staging-Untersuchungen

- Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist die Methode der ersten Wahl zur Beurteilung von zerebralen und spinalen Erkrankungen. Die Computertomographie (CT) bleibt als Methode im Notfall bei fehlender Zugänglichkeit eines MR-Tomographen oder bei Kontraindikationen gegen eine MRT wie das Tragen eines Herzschrittmachers oder von möglicherweise nicht MR-verträglichen Implantaten, wie einem Cochlear Implant oder ferromagnetischen Fremdkörpern, akzeptiert. Die CT ist besonders zur Beurteilung von Verkalkungen oder zur Beurteilung des

Zellreichtums eines Tumors der MRT derzeit vorzuziehen (Barkovich 2000).

- Da das Ansprechen eines Hirntumors auf eine Therapie derzeit über die Veränderung der Tumorgöße beurteilt wird (Therasse et al. 2000), muss die Bildgebung die Größe des Tumors in allen 3 Raumebenen vollständig darstellen.
- Zur Risikoeinschätzung bei Tumorentitäten, die besonders häufig mit einer Meningeoseentwicklung einhergehen, wie Medulloblastome, supratentorielle primitive neuroektodermale Tumoren (stPNET), atypische teratoid-rhabdoide Tumoren (ATRT), Keimzelltumoren, Ependymome Grad III, Plexuskarzinome, bei kranieller Meningeosis neoplastica oder klinischen Symptomen einer medullären Raumforderung ist eine spinale MRT erforderlich, die den gesamten Liquorraum bis zur kaudalen Begrenzung des Duralsacks erfasst. Diese kann abweichend von den üblichen Empfehlungen für die spinalen MR-Untersuchungen wegen der ausschließlich auf den Ausschluss oder Nachweis einer Meningeose zentrierten Indikation als alleinige Post-Kontrast-T1-Untersuchung an eine kraniale MRT angeschlossen werden.

#### Resttumorbestimmung

- Die Resttumorbestimmung muss innerhalb der ersten 72 Stunden nach Operation durchgeführt werden, da sonst unspezifische, operationsbedingte Schrankenstörungen einen Resttumor imitieren können (Jeffries et al. 1980, Cairncross et al. 1985, Forsting et al. 1993, Forsyth et al. 1997, Warmuth-Metz 2003). Da auch frühe operationsbedingte Schrankenstörungen durch intraoperative MR-Untersuchungen bekannt geworden sind (Knauth et al. 1999), sollte die früh postoperative MRT nicht unmittelbar nach der Operation erfolgen.

#### Verlaufsbeurteilung

- Da der Vergleich der Tumorgöße und/oder der Menge an meningealen Tumormanifestationen wichtigster Bestandteil der Verlaufsbeurteilung ist, sollten die Folgeuntersuchungen hinsichtlich Geräte- und Sequenzwahl, Schichtdicke und Schichtorientierung möglichst identisch zu den Basisuntersuchungen durchgeführt werden.

## Ziele der bildgebenden Untersuchung bei Hirntumoren

#### Bei Diagnosedstellung

Bei klinischen Symptomen, die durch eine Raumforderung hervorgerufen sein könnten, soll eine bildgebende Untersuchung des intrakraniellen und/oder spinalen Raums erfolgen. Die Größe und Lokalisation einer Raumforderung sowie die Beziehung zu den Liquorräumen, Venen und Arterien und eventuellen funktionell wichtigen Arealen des Gehirns sollen klar abgrenzbar sein. Nach dem Alter des Patienten ist die Lokalisation und Morphologie einer Raumforderung der wichtigste Faktor für die Formulierung einer Verdachtsdiagnose. Diese beeinflusst wiederum unmittelbar die Wahl des operativen Vorgehens. Beispielsweise ist bei einem tief im Hirnstamm oder den Stammganglien lokalisierten Prozess insbesondere bei Verdacht auf eine höhergradig maligne Raumforderung vor allem eine bioptische gegenüber einer offenen Histologiesicherung vorzuziehen. Die diffusen intrinsischen Gliome des Pons bei Kindern und Jugendlichen oder auch die suprasellären Gliome des Chiasma/Hypothalamus bei Kindern werden bei typischer Morphologie und passender klinischer Konstellation sogar ausschließlich über eine MR-Untersuchung (und zusätzliche native

CT-Untersuchung beim Chiasmagliom) diagnostiziert und derzeit ohne histologische Verifikation behandelt (Albright et al. 1993, Warmuth-Metz et al. 2004) (**Tab. 1**).

Ein bei höhergradigen zystischen Gliomen in der Differenzialdiagnose in Betracht kommender Hirnabszess sollte mit zusätzlichen MRT-Verfahren wie der diffusionsgewichteten MRT oder der Magnetresonanztomographie (MRS) möglichst rasch zuverlässig diagnostiziert werden, da das therapeutische Vorgehen und dessen Dringlichkeit in beiden Fälle unterschiedlich ist.

Besteht der Verdacht auf einen zur Dissemination in die Meningen neigenden ZNS-Tumor oder eine Meningeosis neoplastica, sollte möglichst noch vor einer Resektion oder Biopsie der gesamte Liquorraum mit T1-gewichteten Serien nach Kontrastmittelgabe dargestellt werden. Zur Dissemination neigen besonders PNETs, zu denen das Medulloblastom, der stPNET und das Pineoblastom gehören. Auch der ATRT, das Plexuskarzinom, alle Keimzelltumoren und das anaplastische Ependymom disseminieren häufig. Unter den Tumoren im Erwachsenenalter zeigen höhergradige Gliome bis zur Terminalphase eine Zunahme der Inzidenz einer Meningeose. Dennoch wird hier die Notwendigkeit einer Abklärung des Spinalkanals fakultativ gehandhabt.

---

**Tabelle 1** Standardempfehlungen bei bestimmten diagnostischen Konstellationen bei Hirntumoren

---

- Bei allen Hirntumoren, die operiert werden, an korrekte früh postoperative MRT (24– 72 h) denken
  - Zur Differenzialdiagnose bei spurasellären Tumoren CT-Dichte nativ beachten
  - Bei diffusen intrinsischen Pongliomen in der MRT: Bei typischem Bild und typischer Klinik ist keine histologische Sicherung erforderlich
  - Bei PNETs jeder Lokalisation, Keimzelltumoren, ATRTs ist die Abklärung des gesamten Liquorraums zur Frage einer Meningeose erforderlich
  - Bei bereits sichtbarer Meningeose kranial oder positivem Tumorzellnachweis im Liquor ist die Abklärung des gesamten Liquorraums zum Staging der Meningeose erforderlich
  - Bei allen Hirntumoren im Verlauf oder unter Therapie auf die Vergleichbarkeit der MRT im Verlauf achten
- 

## Indikationen und Technik der Bildgebung

### Computertomographie

Eine Indikation zur CT besteht bei Notfällen, instabilem oder nicht kooperativem Patienten, fehlender Zugänglichkeit zur MRT, zur Aufdeckung eventueller Verkalkungen im Tumor sowie bei einer möglichen Knochenreaktion oder -infiltration. Wegen der inhärenten Strahlenbelastung ist die Indikation bei Kindern oder bei zu erwartenden häufigen Wiederholungsuntersuchungen besonders kritisch zu stellen. Bei Frauen im gebärfähigen Alter muss eine Schwangerschaft ausgeschlossen werden. Auch bei Kontraindikationen zur MRT wie einem Herzschrittmacher, mit Artefakten oder einer relevanten Gefährdung einhergehenden elektronischen Implantaten oder ferromagnetischen Fremdkörpern ist die CT, dann als Nativ- und Kontrastuntersuchung, indiziert.

Der Schädelinnenraum muss kontinuierlich vollständig dargestellt werden. Axiale Schichten sind

Standard und können bei Spiraltechnik, die jedoch wegen der meist höheren Strahlenexposition nicht die primäre Technik der Wahl sein sollte und bestimmten Indikationen vorbehalten ist, durch Rekonstruktionen in den übrigen Raumebenen ergänzt werden. Auch unter Berücksichtigung des Strahlenschutzes muss die Bildqualität besonders bei den in ihrer Strahlendosis erheblich reduzierten „Kinderprogrammen“ noch zur Beurteilung des Gehirns adäquat sein. Soll lediglich eine Raumforderung nachgewiesen oder ausgeschlossen werden und ist eine weitere Diagnostik mittels MRT geplant, so kann besonders auch aus Gründen des Strahlenschutzes eine alleinige native CT durchgeführt werden. Eine Raumforderung, die eine unmittelbare Therapie erfordert, ist auch ohne Kontrastmittelgabe erkennbar. Die Sensitivität der Kontrastmittel-unterstützten CT für eine Meningeosis neoplastica ist verglichen mit der MRT derart gering, dass sich hierfür eine Kontrastmittelapplikation nicht lohnt. Ist eine Raumforderung nachgewiesen, so ist deren weitere Abklärung mittels Kontrastmittelgabe von der Dringlichkeit der Abklärung, den Zugangsmöglichkeiten zu einer MRT und eventuellen Kontraindikationen gegen das Kontrastmittel abhängig.

In der hinteren Schädelgrube empfehlen sich Schichtdicken von 3– 5 mm, supratentoriell genügen meist 6– 8 mm dicke Schichten. Bei der Möglichkeit einer Knochenbeteiligung sollte zusätzlich zu der an das Gehirn adaptierten Berechnung und Darstellung eine Berechnung in einem an Knochen adaptierten Algorithmus und Fenster erfolgen.

Nach der Kontrastmittelgabe in Form einer langsamen Injektion oder Infusion (Dosierung und Kontraindikationen nach den Richtlinien der radiologischen Fachgesellschaften und der Hersteller) soll eine ausreichende Zeit abgewartet werden, um eine Anreicherung des Kontrastmittels in den Arealen einer gestörten Blut-Hirn-Schranke zu ermöglichen. Hierzu erfolgt der Schichtbeginn frühestens nach Beendigung einer langsamen Injektion oder Infusion oder besser noch einige Minuten später.

Die Angulierung der Gantry soll den Schutz der Augenlinse vor der direkten Bestrahlung berücksichtigen.

Wird die CT nur als Ergänzung zu einer bereits durchgeführten oder geplanten MRT z. B. zum Ausschluss oder Nachweis von Verkalkungen oder zur Beurteilung der Zelldichte eines Tumors empfohlen, so sollte sie sich ausschließlich auf das Tumoreal beschränken und es soll auf Kontrastmittel verzichtet werden.

#### **Magnetresonanztomographie**

Die MRT ist die bildgebende Methode der ersten Wahl für alle Erkrankungen des ZNS. Die üblichen relativen und absoluten Kontraindikationen (Frühschwangerschaft, elektronische und nicht MR-kompatible metallische Implantate, die meisten Herzschrittmacher, manche Cochlea-Implantate, implantierte Pumpensysteme und manche, besonders großflächige Tätowierungen mit Eisenpigmenten etc.) müssen berücksichtigt werden.

Auch hier sollte die transversale Ebene als Standard- und Ausgangssequenz gewählt werden, auch wenn z. B. für die infratentoriellen Tumoren manche europäische Fachgesellschaften der sagittalen Schichtebene besondere Bedeutung einräumen. Zusätzliche Ebenen lassen sich nach Belieben und verfügbarer Zeit ergänzen. Wegen des bei allen MR-Untersuchungen bei Hirntumoren wichtigen Vergleichs zu Voraufnahmen sollte möglichst immer eine standardisierte Untersuchungstechnik und zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit das Vorhandensein dieser Voraufnahmen bei der

Untersuchungsplanung angestrebt werden. Besonders die T1-Serien nach Kontrastmittelgabe müssen den gesamten Schädelinnenraum erfassen, da sonst eine Meningeosis neoplastica nicht zuverlässig beurteilt werden kann. Die Schichtlücken (Interslice-Gap) sollten nicht mehr als 20% der Schichtdicke betragen. Bei kleinen Läsionen muss die Schichtdicke entsprechend erniedrigt werden. Die Darstellung eines Tumors sollte zur Größenbestimmung nach der Formel des Rotationsellipsoids ( $a \times b \times c/2$ ) in mindestens 2 Ebenen erfolgen. Deshalb muss auch immer ein Maßstab auf den Bildern abgebildet oder ein sonstiges Messtool zugänglich sein. Für die OP-Planung können Darstellungen in den 3 Raumebenen oder eine lückenlose Dünnschichtuntersuchung je nach den Erfordernissen der speziellen Software zur Neuronavigation erforderlich werden.

Verlaufsuntersuchungen sollten möglichst noch vor einer Liquorpunktion durchgeführt werden, um verwirrende Artefakte wie das postpunktionelle subdurale Enhancement zu vermeiden.

Bei Verlaufsuntersuchungen ist darauf zu achten, dass die Untersuchungssequenzen und die Schichtdicken möglichst identisch durchgeführt werden. So ist z. B. eine T1-TSE-Sequenz weniger sensitiv für ein Kontrast-Enhancement als eine konventionelle SE-Sequenz, so dass Unterschiede im Kontrast-Enhancement einer Läsion vorgetäuscht werden können. Deshalb sollten auch bei der präoperativen Untersuchung nicht ausschließlich für die OP-Vorbereitung erforderliche 3 D-MPR-Sequenzen durchgeführt werden, da hier wegen der unterschiedlichen Grau-Weiß-Kontraste der Vergleich mit z. B. SE-Sequenzen sehr schwer ist. In Vergleichsstudien zur Detektierbarkeit kleiner Kontrastmittel aufnehmender Läsionen hat die MPR-Sequenz im Vergleich zur SE-Sequenz Nachteile gezeigt (Bluml et al. 1996, Brant-Sawadzki 1992, Wetzel et al. 2002). Der Größenvergleich kleiner Läsionen ist per se für Artefakte anfällig (Partialvolumen). Noch schwieriger wird der Größenvergleich, wenn die Schichtdicken oder Schichtabstände unterschiedlich sind. Im strengen Sinne dürfen nur Läsionen vermessen werden, deren Größe mindestens das Doppelte der Schichtdicke beträgt, um diese Fehlerquellen auszuschließen (Therasse et al. 2000). Dies ist jedoch in der Praxis nicht immer möglich. Eine tendenzielle Einschätzung sollte machbar sein. Aufgrund der bekannten T1-Verlängerung bei höheren Feldstärken (z. B. 3 T), sollte zudem ein Wechsel zwischen Geräten mit unterschiedlicher Feldstärke vermieden werden.

Die T2-Wichtung sollte als stark T2-gewichtete Sequenz immer ergänzt durch eine Protonendichte- oder FLAIR-Sequenz durchgeführt werden. Wegen häufiger stärkerer Pulsationsartefakte in der FLAIR-Sequenz in der hinteren Schädelgrube und an Stellen mit hohem Liquorfluss ist der Protonendichte-Sequenz besonders bei Tumoren dieser Region der Vorzug zu geben. Die Schichtdicken sollten nicht über 6 mm liegen.

Die T1-gewichteten Schichten sollten als konventionelle SE-Sequenz vor und nach Kontrastmittelgabe (ca. 0,1 mmol/kg KG Gadolinium-DTPA oder eine vergleichbare Dosis einer anderen Gadoliniumverbindung) durchgeführt werden. Besonders die erst kürzlich bekannt gewordenen Kontraindikationen gegen einige Gadoliniumpräparate sind zu beachten. Eine Gabe von weniger stabilen Gadoliniumpräparaten bei einer eingeschränkten glomerulären Filtrationsrate (GFR) gilt derzeit als relativ bis absolut kontraindiziert und auch eine Dialyse nach Gadoliniumgabe kann das Risiko einer nephrogenen systemischen Fibrose nicht ausschalten. Besonders bei älteren Patienten (z. B. ab 60 Jahre) und auch jüngeren mit einer potenziellen Einschränkung der Nierenfunktion muss das Kreatinin und, falls dieses pathologisch ist, die GFR bestimmt werden. Ein Wechsel zwischen den verschiedenen Kontrastmittelpräparaten sollte, soweit dies unter dieser Voraussetzung möglich ist,

vermieden werden. Zur sicheren Beurteilung einer Kontrastmittelanreicherung sollte prinzipiell die gleiche Sequenz mit unveränderten Parametern vor und nach der Kontrastmittelinjektion unter Berücksichtigung der Anflutungszeit eingesetzt werden. Bei Erkrankungen der suprasellären Region empfiehlt sich die Dünnschichtung der Sella sagittal zur leichten Beurteilung des im nativen Bild hyperintensiven Signals des Hypophysenhinterlappens. Der Verlust des hyperintensiven Signals ist das morphologische Korrelat eines Diabetes insipidus und hat bei der Differenzialdiagnose von suprasellären Raumforderungen besonders bei Kindern und jungen Erwachsenen große Bedeutung.

Die Durchführung von 3 D-Gradientenechosequenzen mit dünnen Schichten erlaubt zwar die schnelle Rekonstruktion in allen beliebigen Schichtrichtungen, kann aber durch eine Kombination von Kontrastmittel-Enhancement und Flow-related-Enhancement in den Gefäßen u. U. zu Schwierigkeiten in der Beurteilung einer Meningeose führen. Nach Griffiths et al. (2003) bietet eine Post-Kontrast-T1-FLAIR-Untersuchung die Möglichkeit, zwischen Meningeose und Gefäß-Enhancement sicher zu unterscheiden. Allerdings wurde in einer Studie (Singh et al. 2002), in der die relative Sensitivität der T1-FLAIR-Sequenz mit einer konventionellen T1-Sequenz verglichen wurde, die konventionelle Sequenz bei verblindeter Auswertung als die sensitivere erkannt. Auch bei Zhou et al. (2006) war die Zahl an Kontrastmittel aufnehmenden Läsionen mit einer FLAIR-Sequenz im Vergleich zur SE-Sequenz geringer, wenn auch die Läsionsgröße in der FLAIR-Sequenz signifikant größer war als in der regulären T1-Post-Kontrast-Sequenz.

Selten ist bei intrakraniellen Tumoren eine fettunterdrückte Sequenz erforderlich und die manchmal nicht ideale Fettsuppression und die Erhöhung der TR mit der Möglichkeit des T2-Einflusses auf das Bild sowie mögliche Artefakte in der Nähe lufthaltiger Nasennebenhöhlen sind zu bedenken. Vorteile bietet die Fettsuppression bei Knochenläsionen z. B. im Rahmen einer Histiozytose oder bei Knochenbeteiligung von Metastasen oder Meningeomen.

Mittels Magnetization-Transfer-(MT-)Technik ist eine Verstärkung der Detektierbarkeit einer Kontrastmittelaufnahme von z. B. Metastasen möglich. Allerdings hat die Technik den Nachteil, dass der Kontrast zwischen grauer und weißer Substanz deutlich schlechter wird. Außerdem kann es zu einem möglicherweise verwirrenden scheinbaren Enhancement kommen, wenn die MT-Sequenz nicht vor und nach Kontrastmittelgabe durchgeführt wurde, da sich häufig bereits vor Kontrastmittelgabe ein erhöhtes Signal in MT-Sequenzen findet, so dass nicht nur eine Kontrastmittelaufnahme dargestellt wird (Meyer et al. 1997).

#### **MRT bei 3 Tesla Feldstärke**

Die vorgenannten Empfehlungen der Standardsequenzen gelten für die heute übliche Standardfeldstärke von ca. 1,5 T. Bei den derzeit für die klinische Untersuchung noch nicht überall verfügbaren 3 T MR-Tomographen sind wegen unterschiedlicher Bildcharakteristik zu den bisher üblichen Geräten meist Gradientenechosequenzen zur Bildgebung erforderlich, da Spinechosequenzen nicht zu einem hohen Kontrast zwischen grauer und weißer Substanz führen. Ein Wechsel der Feldstärken bei Verlaufsuntersuchungen sollte wegen der unterschiedlichen Bildcharakteristika mit der Möglichkeit, Tumoren anders in ihrer Größe einzuschätzen, trotz der eindeutig günstigen Eigenschaften der 3-T-Geräte bezüglich des Signal-Rausch-Verhältnisses bei vergleichbaren Sequenzen zu 1,5-T-Geräten unterbleiben (Biswas et al. 2005). Im Durchschnitt ist die Bildqualität spinaler Untersuchungen an 3-T-Geräten noch der mit 1,5-T-Geräten erreichbaren unterlegen, so

dass hier derzeit noch Zurückhaltung zu fordern ist. Um eine Bildqualität zu erreichen, die der von 1,5-T-Geräten gleicht, müssen Sequenzmodifikationen vorgenommen oder alternative Sequenzen eingesetzt werden. Die Genauigkeit des Nachweises von Metastasen bei Einsatz dieser Sequenzen wurde bisher nicht systematisch untersucht. Aus diesem Grund ist derzeit noch Zurückhaltung zu fordern.

### **Spinale MRT**

Die spinale MRT ist bei einer Vielzahl von kraniellen Raumforderungen zum Staging bei Diagnosestellung und im Verlauf erforderlich. Die Liquoruntersuchung und die MRT sind als sich ergänzende Verfahren aufzufassen, da bei beiden Verfahren falsch negative Ergebnisse gefunden werden (insbesondere eine falsche Negativität für Tumorzellen im Liquor, abhängig von der Menge an gewonnenem Liquor, den Aufbereitungsverfahren und der Anzahl an Kontrollpunktionen) und nur die Kombination beider Verfahren die höchste diagnostische Aussage bietet (Sze 1998). Wenn nicht medulläre pathologische Läsionen gesucht werden und sich die Untersuchung ausschließlich auf den Ausschluss oder Nachweis einer Meningeose begründet, so kann die spinale MRT auf eine T1-Sequenz nach Kontrastmittelgabe beschränkt werden. Äußerst selten sind zusätzliche Informationen aus einer nativen T1-Serie zu erwarten. Dieses Vorgehen bietet den Vorteil, dass die spinale Untersuchung ohne allzu großen zusätzlichen Aufwand im Anschluss an eine kranielle Untersuchung durchgeführt werden kann. Im Zweifelsfall können eine T2- oder zur selten erforderlichen Unterscheidung zwischen Fett und pathologischem Enhancement erforderliche fettunterdrückte T1-Sequenz anschließend ergänzt werden. Größter Vorteil der ausschließlichen T1-Sequenzen nach Kontrastmittelgabe ist die kürzere Untersuchungszeit, so dass die wichtigsten Bilder nicht erst dann erzeugt werden, wenn der meist schwer kranke Patient (vor allem Kinder oder hinsichtlich ihrer Kooperation eingeschränkte Erwachsene) bereits durch eine langwierige Untersuchung unkooperativ ist.

Zu empfehlen sind sagittale T1- (und ggf. T2-gewichtete) TSE-Sequenzen, deren Schichtdicke nicht über 3 mm liegen sollte. Es ist darauf zu achten, dass der gesamte Spinalkanal lückenlos und vollständig abgebildet wird. Der Duralsack reicht meist bis in Höhe des 2. Sakralwirbels kann jedoch u. U. länger oder kürzer sein. Da eine Meningeosis neoplastica keine klinischen Symptome hervorrufen muss und ungleichmäßig kraniell und spinal ausgeprägt sein kann, muss der gesamte Liquorraum untersucht werden. Bei fehlendem Nachweis einer kraniellen Meningeose sollte nicht auf die spinale Untersuchung verzichtet oder nur Teile des spinalen Liquorraumes erfasst werden.

Die zunehmend häufig durchgeführten T1-Sequenzen mit Fettunterdrückung haben den Nachteil einer meist nicht über den gesamten Spinalkanal gleichmäßigen Signalintensität und einer dadurch mehr oder weniger stark beeinträchtigten Signalausbeute. Oft sind weite Teile des Spinalkanals überhaupt nicht beurteilbar. Zusätzlich nehmen auch physiologische Strukturen, wie z. B. die Nervenwurzeln, Kontrastmittel auf, was die Abgrenzbarkeit eines physiologischen von einem durch eine Meningeose bedingten Enhancement erschwert. Wegen der Schwierigkeit, ein Enhancement in den physiologischen Rückenmarksvenen – besonders in Höhe des Konus und Epikonus, wo die Venen am kräftigsten sind, – ausschließlich anhand sagittaler Schichten von einer Meningeose zu unterscheiden, sollten in dieser Höhe zusätzlich axiale Schichten durchgeführt werden, deren Schichtdicke an die zu erfassende Region angepasst werden kann. Koronare Sequenzen empfehlen sich wegen des Gefäßverlaufs hierzu nicht. Anhand der axialen Schichten können auch radikuläre

Venen gut erkannt und von kleinen Meningeoseknoten unterschieden werden. Axiale Schichten sind auch in Höhe einer nachgewiesenen Meningeose oder an verdächtigen Stellen außerhalb der Konus/Epikonusregion sinnvoll, da im Verlauf die ohnehin schwierige Beurteilung der Entwicklung einer Meningeose erleichtert wird. Die Wichtigkeit einer Darstellung in weiteren Ebenen wird unterstrichen durch das Ergebnis einer Vergleichsstudie. Hier war die alleinige sagittale Schichtung mit relativ dicken 4 mm Schichten erwartungsgemäß einer 3 D-Darstellung in der Differenzierung von Gefäßen und einer Meningeose deutlich unterlegen (Sugahara et al. 1998). Wie kranial ist auch spinal auf eine möglichst identische Durchführung der Untersuchung zum Zweck der Vergleichbarkeit zu achten.

Die Problematik spinaler Untersuchungen am 3-T-Gerät wurde bereits unter dem Unterpunkt „ MRT bei 3 T Feldstärke“ behandelt.

Früh postoperativ (0– 28 Tage nach der Operation) vorkommende unspezifische subdurale Veränderungen am Spinalkanal dürfen nicht mit einer intraduralen Meningeose verwechselt werden. Sie werden nahezu ausschließlich nach Operationen der hinteren Schädelgrube gefunden, sind ätiologisch nicht eindeutig geklärt, haben kein klinisches Korrelat und bilden sich immer spontan wieder zurück (Warmuth-Metz et al. 2004). Es handelt sich um band- oder kissenartige Läsionen mit unterschiedlich starker Kontrastmittelaufnahme in der Dura. Um eine Fehlinterpretation zu vermeiden, kann die präoperative Durchführung der spinalen MRT empfohlen werden. Falls ein subdurales Enhancement postoperativ nachweisbar ist und trotz des dann charakteristischen Befundes Zweifel bestehen oder die Veränderungen so Raum fordernd sind, dass eine korrekte Beurteilung einer Meningeose nicht mehr möglich ist, kann dies durch eine Wiederholungsuntersuchung nach einer Wartezeit von 1– 2 Wochen geklärt werden. Eine postoperative Karenzzeit für die spinale Staging-MRT von 2 Wochen kann deshalb nicht empfohlen werden, da die unspezifischen Läsionen bis zu 4 Wochen nachweisbar sein können und auch nach 2 Wochen recht breite Enhancement-Säume gesehen werden konnten. Da vom Ergebnis des Staging therapeutische Entscheidungen abhängen, kann auch mit der Durchführung von Staging-Untersuchungen nicht unbegrenzt lange gewartet werden. Ähnliche unspezifische subdurale intrakranielle oder spinale Veränderungen sind auch nach Liquorpunktionen möglich, so dass eine MR-Diagnostik immer möglichst vor einer Liquorpunktion durchgeführt werden sollte.

Jede unklare kraniale oder spinale klinische Symptomatik bei systemischer Neoplasie oder bei Nachweis von Tumorzellen im Liquor sollte zu einer Abklärung mittels MRT veranlassen. Bei den höhergradigen Gliomen sollte die Indikation von den therapeutischen Optionen abhängig gemacht werden und auch bei den niedrigergradigen Gliomen wurden Meningeosen bei bis zu 10% der Patienten gefunden. Allerdings sind diese sich nicht wie bei den höhergradigen Tumoren immer als Zeichen einer sehr schlechten Prognose zu werten, sondern können klinisch unbemerkt und über lange Zeit bildmäßig konstant sein, so dass der bildmäßige oder liquorzytologische Nachweis einer Meningeose z. B. bei einem pilozytischen Astrozytom nicht „ per se“ eine Behandlungsindikation darstellt (Perilongo et al. 2003).

#### **Myelographie**

Die Myelographie und das postmyelographische CT sind in der Diagnostik einer meningealen Dissemination oder einer spinalen Tumormanifestation vollständig von der spinalen MRT verdrängt

worden. Dafür ist neben dem invasiven Charakter der Myelographie auch die Unsicherheit der Methode zur Erkennung laminärer Meningeoseauflagerungen verantwortlich.

#### Angiographie

In der Diagnostik von Raumforderungen im intrakraniellen und spinalen Raum spielt die invasive Angiographie keine Rolle mehr. Denkbar ist eine Indikation, wenn anhand einer typischen Vaskularisation ein Meningeom von einer duralen Metastase unterschieden werden soll. Eine vorzeitige Venenfüllung durch arteriovenöse Shunts im Tumor ist ein Hinweis auf ein höhergradiges Gliom oder eine gefäßreiche Metastase. Die Angiographie wird auch auf Wunsch des Operateurs durchgeführt, wenn z. B. die Gefäßverhältnisse wie die Lage von Venen oder das Vorhandensein einer Sinusanomalie nicht mit der MRT oder MR-Angiographie zu klären sind oder ein gefäßreicher Tumor vor einer Resektion mittels Embolisation devaskularisiert werden soll.

### Früh postoperative Untersuchungen

Das Ausmaß eines Resttumors ist nicht nur aus prognostischen Gründen bei vielen niedrig- und hochgradigen Hirntumoren von Bedeutung, sondern stellt auch die Basis für die zukünftige Erfolgsbeurteilung einer Therapie dar. Postoperativ kommt es jedoch zu einer unspezifischen, durch reparative Vorgänge bedingten Schrankenstörung, die seit der frühen Zeit der Schnittbildgebung bekannt ist und deretwegen es nach anfänglichen Fehlinterpretationen als entzündliche Komplikation häufig zu unnötigen Rekraniotomien kam. Durch systematische Versuche an Tieren und Verlaufsbeobachtungen am Menschen konnten der Zeitverlauf und die Morphologie dieser Schrankenstörung besser eingeschätzt werden. In der CT sind in den ersten maximal 5 Tagen keine unspezifischen Reaktionen zu erwarten. Für die heute gängige MRT sind die Ergebnisse verschiedener Studien etwas widersprüchlicher. Während Forsting et al. (1993) innerhalb der ersten 72 Stunden keinerlei Kontrastmittelaufnahme nach Resektion hochgradiger Gliome berichteten, haben zahlreiche andere Autoren variabel ausgeprägte Veränderungen beobachtet (Forsyth et al. 1997, Knauth et al. 1999), so dass die Empfehlungen zum idealen Zeitpunkt nicht leicht zu formulieren sind. Eine durale Kontrastmittelaufnahme ist sowohl in der CT als auch in der MRT unmittelbar nach Eröffnung der Dura nachweisbar. Ob es also sinnvoll ist, bei extraaxialen Tumoren wie Meningeomen eine früh postoperative MRT durchzuführen, kann bezweifelt werden, da ein vollständiges Fehlen einer duralen Kontrastmittelaufnahme nie zu erwarten ist. Eine laminäre zerebrale Schrankenstörung kann bereits unmittelbar nach der Operation beobachtet werden, ohne dass dies einem Kontrastmittel aufnehmenden Resttumor entspricht. Noduläre, Kontrastmittel aufnehmende Areale sind in den ersten 3 Tagen höchst verdächtig auf einen Tumorrest, wobei hier falsch positive Befunde besonders sehr früh nach der Operation möglich sind. Wie Ergebnissen von Studien zur intraoperativen Bildgebung zeigten, können eine Elektrokoagulation des Gehirns sowie die operativen Manipulationen zu einer unmittelbaren Störung der Blut-Hirn-Schranke führen. Andere Autoren halten 3– 5 Tage postoperativ für den geeigneten Zeitpunkt, wenn auch eine unspezifische Kontrastmittelaufnahme schon innerhalb dieser Zeit vorhanden ist. Sie empfanden jedoch die Luft und Flüssigkeitseinlagerung im Operationsgebiet als so störend, dass sie den Zeitraum vor einer Intensivierung der unspezifischen Kontrastmittelaufnahme zur Resttumorbestimmung bevorzugten.

Schwierig ist die Bestimmung eines Resttumors bei primär nicht schrankengestörten Tumoren. Hier

wurde die FLAIR-Sequenz von Essig et al. (2001) besonders bei niedriggradigen diffusen Gliomen empfohlen. Aus eigener Erfahrung kann jedoch auch diese Sequenz einen Resttumor nicht in jedem Fall von operationsbedingten Ödemzonen unterscheiden, so dass das beste Mittel der Vergleich von prä- und postoperativen Befunden in allen verfügbaren (möglichst gut vergleichbaren) Sequenzen ist. Eine deutliche Änderung des präoperativen Signals im Operationsgebiet spricht gegen einen Resttumor und für operationsassoziierte Veränderungen. Wegen der Unklarheit, wann eine postoperativ in der MRT nachweisbare Schrankenstörung zunimmt, werden die ersten 72 Stunden nach der Operation bevorzugt, wie von Forsting et al. (1993) vorgeschlagen. Es gilt jedoch auch bei Kontrastmittel aufnehmenden Tumoren die T2-gewichteten Sequenzen zu beachten. Wichtig ist eine Durchführung der T1- Sequenz vor und nach Kontrastmittelgabe, da ansonsten bereits hyperintenses Methämoglobin in der Operationshöhle für eine Schrankenstörung gehalten werden könnte. Für diesen Vergleich ist die Durchführung der Schichtung vor und nach Kontrastmittelgabe in derselben Schichtrichtung, Schichtdicke und Schichtposition sehr hilfreich. Darüber hinaus ist es empfehlenswert, ein Diffusionsbild anzufertigen, um mögliche operationsbedingte Zirkulationsstörungen zu erfassen, die gelegentlich Ursache einer neurologischen Symptomatik sind und von der tumorbedingten Pathologie abgegrenzt werden sollten.

Wird die früh postoperative Phase zur Einschätzung eines Resttumors versäumt, so ist die Klärung dieser wichtigen Aussage über lange Zeit hinweg nicht, eventuell sogar nie mehr möglich, weil eine unspezifische Schrankenstörung in unterschiedlicher Ausprägung nicht definierbar lange anhalten und auch eine durch einen Resttumor bedingte Schrankenstörung unter einer Therapie rückläufig sein kann. Ohne Kenntnisse über einen Resttumor sind die zur Einschätzung des Behandlungserfolges wichtigen Verlaufskontrollen häufig und über einen längeren Zeitraum nicht abschließend beurteilbar.

### **Spezialmethoden wie MR-Spektroskopie (MRS), diffusionsgewichtete MRT, dynamische Kontrast-MRT, Perfusions-MRT und PET**

Hauptziel dieser Zusatzmethoden zur konventionellen Bildgebung ist es, auf nichtinvasivem Weg Informationen zu gewinnen, die zur differenzialdiagnostischen und prognostischen Einschätzung von zerebralen Raumforderungen beitragen und den Therapie-Response einschätzen lassen. Nach Therapie ist eine Abgrenzung behandlungsbedingter Veränderungen wie z. B. einer Strahlennekrose von einem Tumorrezidiv mit der konventionellen bildgebenden Untersuchung häufig nicht möglich.

Die **Protonenspektroskopie (1 H-MRS)** erlaubt die nichtinvasive Darstellung der Dichte von intakten und funktionsfähigen Neuronen, einer verstärkten Proliferation und einer eventuell vorhandenen Nekrose. Aus der Konstellation der Peaks bestimmter Metabolite sind Rückschlüsse auf die Malignität von Hirntumoren, auf den Therapie-Response und die Unterscheidung zwischen Strahlennekrose und Tumorrezidiv möglich (Hollingworth et al. 2006).

Die **Diffusionsbildgebung**, die besonders zum Nachweis eines zytotoxischen Ödems beim Insult Verbreitung gefunden hat, ist dank ihrer Eigenschaft, mittels des Parameters des apparent diffusion coefficient (ADC) die Gewebetextur von Tumoren oder deren Umgebung darstellen zu können, auch dazu geeignet, infiltrierende von nicht infiltrierenden Tumoren oder solche mit Nekrose von denen ohne Nekrose unterscheiden zu können. Die Zelldichte von Tumoren kann unabhängig vom eventuellen Malignitätsgrad eingeschätzt werden. In tierexperimentellen Untersuchungen erwies sich

die Diffusionsbildgebung als sehr sensitives Verfahren zur frühen Abschätzung eines Therapieansprechens (Hamstra et al. 2005, Moffat et al. 2006). Der ADC-Wert wurde bei nicht Kontrastmittel aufnehmenden anaplastischen Gliomen niedriger bestimmt als bei ebenfalls nicht Kontrastmittel aufnehmenden niedriggradigen Gliomen (Fan et al. 2006).

Die **Perfusionsbildgebung**, entweder als „First-Pass“-Untersuchung mittels Kontrastmittel oder mit der Technik des „Spin-Labeling“ durchgeführt, erlaubt es, die Parameter des regionalen Blutflusses, des Blutvolumens und der „Time-to-Peak“ zu bestimmen. Da höhergradige Hirntumoren durch eine vaskuläre Proliferation andere Perfusionsparameter aufweisen als niedriggradige, können so Hinweise auf den Malignitätsgrad gewonnen oder z. B. die Reaktion auf eine antiangiogenetische Therapie dargestellt werden. Mittels MR-Perfusion kann auch die Differenzialdiagnose zwischen Tumorrezidiv und z. B. Strahlenreaktion eingeeengt werden. Höhere rCBV-Werte werden in nicht Kontrastmittel aufnehmenden anaplastischen Gliomen im Vergleich zu niedriggradigen Gliomen gefunden (Cha et al. 1999, Fan et al. 2006, Sadeghi et al. 2007).

Mittels **Kontrastmittel unterstütztem dynamischem MRT** kann auch die vaskuläre Permeabilität von Tumoren und hiermit die Störung der Blut-Hirn-Schranke bestimmt werden (Provenzale et al. 2006).

Die **PET**, besonders die PET mit markierten Aminosäuren (z. B. Methionin oder Tyrosin), kann durch den Einbau dieser Aminosäuren z. B. in Hirntumoren vergleichbar mit der <sup>1</sup>H-MRS Aufschlüsse über den Proliferationsstatus von Hirnläsionen geben und so zur Diagnose Tumor oder zur Einordnung des Malignitätsgrades beitragen. Auch mit der Perfusionsmessung wurde eine Korrelation zwischen relativen CBV und dem Methionin-Uptake gefunden (Jacobs et al. 2005, Sadeghi et al. 2007). Der klinische Nutzen einer Kombination von MRT und PET ist erwiesen bei Patienten mit Gliomen zur Bestimmung des Biopsieortes (vor allem bei Gliomen ohne Kontrastmittelaufnahme), zur Beurteilung einer malignen Progression und zur Differenzierung zwischen Strahlennekrose und Rezidiv. Darüber hinaus kann die kombinierte MRT/PET-Diagnostik Informationen liefern bezüglich des Tumorgrades (Dignität), der metabolen Aktivität als prognostischem Indikator, des postoperativen Nachweises von Resttumoren sowie der Differenzierung zwischen Neoplasie und Entzündungen. Zukünftige Entwicklungen zielen auf das frühe Therapiemonitoring nach Strahlen- und Chemotherapie und die Möglichkeiten einer Therapieeskalation der Strahlenbehandlung in Abhängigkeit von der Stoffwechselaktivität (Jacobs et al. 2005, Langen et al. 2007).

## **Besonderheiten für die Schweiz und Österreich**

Die hier ausgeführten Empfehlungen entsprechen jenen in Österreich.

## **Expertengruppe**

*Prof. Dr. H. Brückmann, Neuroradiologie, Universität München Großhadern*

*Prof. Dr. A. H. Jacobs, Neurologie, Klinikum Fulda*

*Prof. Dr. R. Kortmann, Universitätsklinik für Radioonkologie Leipzig*

*Prof. Dr. H. Lanfermann, Neuroradiologie, Universität Hannover*

*Prof. Dr. H. M. Mehdorn, Universitätsklinik für Neurochirurgie, Kiel*

*Prof. Dr. W. Reith, Neuroradiologie, Universität Homburg Saar*

*Prof. Dr. R. von Kummer, Neuroradiologie, Universität Dresden*

*Prof. Dr. M. Warmuth-Metz, Neuroradiologie, Universität Würzburg*

*Prof. Dr. M. Weller, Neurologische Klinik, Universitätsspital, Zürich*

**Für Österreich:** *Prof. Dr. G. Stockhammer, Neurologie Universitätsklinik Innsbruck*

**Federführend:** *Prof. Dr. Monika Warmuth-Metz, Abteilung für Neuroradiologie der Universitätsklinik Würzburg, Josef-Schneider-Straße 11, 97080 Würzburg*

*E-Mail: warmuth@neuroradiologie.uni-wuerzburg.de*

Bei dieser Leitlinie handelt es sich um eine gemeinsame Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Neurologie (DGN), der Deutschen Gesellschaft für Neuroradiologie (DGNR) und der Neuroonkologischen Arbeitsgemeinschaft (NOA) in der Deutschen Krebsgesellschaft (DKG). Diese Leitlinie entstand ohne Unterstützung oder Einflussnahme durch die Industrie. Ein großer Teil der Empfehlungen beruht auf den langjährigen Erfahrungen der federführenden Autorin mit der zentralen Befundung der Bildgebung in multizentrischen Therapieoptimierungsstudien (Hirntumor-Studien der Gesellschaft für Pädiatrische Onkologie und Hämatologie GPOH).

## Literatur

Albright AL, Packer RJ, Zimmerman R, et al. Magnetic resonance scans should replace biopsies for the diagnosis of diffuse brain stem gliomas: a report from the Children' s Cancer Group. *Neurosurgery* 1993;33:1026– 1029.

Barkovich JA. Intracranial, orbital and neck tumors of childhood. In: Barkovich JA. ed. *Pediatric neuroimaging*. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, 2000.

Biswas J, Nelson CB, Runge VM, et al. Brain tumor enhancement in magnetic resonance imaging: comparison of signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) at 1.5 versus 3 tesla. *Invest Radiol* 2005;40:792– 797.

Bluml S, Schad LR, Scharf J, et al. A comparison of magnetization prepared 3 D gradient-echo (MP-RAGE) sequences for imaging of intracranial lesions. *Magne Reson Imaging* 1996;14:329– 335.

Brant-Zawadski M, Gillan GD, Nitz WR. MP Rage: a three-dimensional, T1-weighted, gradient-echo-sequence-initial experience in the brain. *Radiology* 1992;182:769– 775.

Cairncross JG, Pexman JH, Rathbone MP, et al. Postoperative contrast enhancement in patients with brain tumors. *Ann Neurol* 1985; 6:570– 572.

Cha S, Knopp EA, Johnson G, et al. Intracranial mass lesions: dynamic contrast-enhanced susceptibility-weighted echo-planar perfusion MR imaging. *Radiology* 1999;211:791– 798.

Essig M, Metzner R, Bonsanto M, et al. Postoperative fluid-attenuated inversion recovery MR imaging of cerebral gliomas: initial results. *Eur Radiol* 2001;11:2004– 2010.

Fan GG, Deng QL, Wu ZH, et al. Usefulness of diffusion/perfusion-weighted MRI in patients with non-enhancing supratentorial brain gliomas: a valuable tool to predict tumour grading? *Br J Radiol* 2006;79:652– 658.

Forsting M, Albert FK, Kunze S, et al. Extirpation of glioblastomas: MR and CT follow-up of residual tumor and growth patterns. *Am J Neuroradiol* 1993;14:77– 87.

Forsyth PAJ, Petrov E, Mahallati H, et al. Prospective study of postoperative magnetic resonance imaging in patients with malignant gliomas. *J Clin Oncol* 1997;15:2076– 2081.

- Fryback D, Thornbury J. The efficacy of diagnostic imaging. *Med Decis Making* 1991;11:88– 94.
- Griffiths PD, Cooley SC, Romanowski CA, et al. Contrast-enhanced fluid-attenuated inversion recovery imaging for leptomeningeal disease in children. *Am J Neuroradiol* 2003;24:719– 723.
- Hamstra DA, Chenevert DL, Moffat BA, et al. Evaluation of the functional diffusion map as an early biomarker of time-to-progression and overall survival in high-grade glioma. *PNAS* 2005;102: 16759– 16764.
- Hollingworth H, Medina LS, Lenkinski RE, et al. A systematic literature review of magnetic resonance spectroscopy for the characterization of brain tumors. *Am J Neuroradiol* 2006;27:1404– 1411.
- Jacobs AH, Kracht LW, Gossmann A, et al. Imaging in neurooncology. *NeuroRx* 2005;2:333– 347.
- Jeffries BF, Kishore PR, Sigh KS, et al. Postoperative computed tomographic changes in the brain: an experimental study. *Radiology* 1980;135:751– 753.
- Knauth M, Nurdagül A, Wirtz CR, et al. Surgically induced intracranial contrast enhancement: potential source of diagnostic error in intraoperative MR imaging. *Am J Neuroradiol* 1999;20: 1547– 1553.
- Langen KJ, Tatsch K, Grosu AL, et al. Diagnostik von Hirntumoren mit radioaktiv markierten Aminosäuren. *Dtsch Ärztebl* 2008;105: 55– 61.
- Meyer JR, Androux RW, Salamon N, et al. Contrast-enhanced magnetization transfer MR of the brain: importance of precontrast images. *Am J Neuroradiol*. 1997;18:1515– 1521.
- Moffat BA, Chenevert TL, Meyer CR, et al. The functional diffusion map: an imaging biomarker for the prediction of cancer treatment outcome. *Neoplasia* 2006;8:259– 267.
- Perilongo G, Garre ML, Giangaspero F. Low-grade gliomas and leptomeningeal dissemination: a poorly understood phenomenon. *Childs Nerv Syst* 2003;19:197– 203.
- Provenzale JM, York G, Moya MG, et al. Correlation of relative permeability and relative cerebral blood volume in high-grade cerebral neoplasms. *Am J Roentgenol* 2006;187:1036– 1042.
- Sadeghi N, Salmon I, Decaestecker C, et al. Stereotactic comparison among cerebral blood volume, methionine uptake, and histopathology in brain glioma. *Am J Neuroradiol* 2007;28:455– 461.
- Singh SK, Leeds NE, Ginsberg LE. MR imaging of leptomeningeal metastases: comparison of three sequences. *Am J Neuroradiol* 2002;23:745– 746.
- Sugahara T, Korogi Y, Hirai T, et al. Contrast-enhanced T1-weighted three-dimensional gradient-echo MR imaging of the whole spine for intradural tumor dissemination. *Am J Neuroradiol* 1998; 19:1773– 1779.
- Sze GK. Advancing techniques in spinal MR imaging but are they necessary for spinal leptomeningeal tumor? *Am J Neuroradiol* 1998;19:1595– 1596.
- Therasse P, Arbuck SG, Eisenhauer EA, et al. New guideline to evaluate the response to treatment in solid tumors. European Organization for Research and Treatment of Cancer, National Cancer Institute of the United States, National Cancer Institute of Canada. *J Natl Cancer Inst* 2000;92:205– 216.
- Warmuth-Metz M. Postoperative imaging after brain tumor resection. *Acta Neurochir Suppl* 2003;88:13– 20.
- Warmuth-Metz M, Gnekow AK, Müller H, et al. Differential diagnosis of suprasellar tumors in children. *Klin Paediatr* 2004;216: 323– 330.
- Warmuth-Metz M, Kühl J, Krauss J, et al. Subdural enhancement on postoperative spinal MRI after resection of posterior cranial fossa tumours. *Neuroradiol* 2004;46:219– 223.
- Wetzel SG, Johnson G, Tan AG, et al. Three dimensional, T1-weighted gradient-echo imaging of the brain with volumetric interpolated examination. *Am J Neuroradiol* 2002;23:995– 1002.
- Zhou ZR, Shen TZ, Chen XR, et al. Diagnostic value of contrast-enhanced fluid-attenuated inversion-recovery MRI for intracranial tumors in comparison with post-contrast T1w spin-echo MRI. *Chin Med J* 2006;119:467– 473.