Bildgebung

- Speicheldrüsen
- Ohr
- Nase/Nasennebenhöhlen/Nasopharynx
- Mundhöhle/Pharynx
- Larynx
- Hals
- Schilddrüse
- Bildgebung beim malignen Melanom
- Navigation und Robotik

5 BILDGEBUNG

5.1 Speicheldrüsen
5.1.1 Funktionsdiagnostik
5.1.2 Speichelgangsdarstellung
5.1.2.1 Endoskopie
5.1.3 M. Sjögren
5.1.4 Speicheldrüsentumoren

5.2 Ohr
5.2.1 Mittelohr
5.2.2 Innenohr
5.2.3 Optische Kohärenz-Tomographie
5.2.4 Innerer Gehörgang und Kleinhirnbrückenwinkel
5.2.5 Felsenbein

5.3 Nase/Nasennebenhöhlen/Nasopharynx
5.3.1 Äußere Nase
5.3.2 Nasennebenhöhlen
5.3.3 Virtuelle Endoskopie
5.3.4 Nasopharynx

5.4 Mundhöhle/Pharynx
5.4.1 Bildgebung bei Schlafapnoe
5.4.2 Neue optische Methoden zur Identifikation oraler Neoplasien
5.4.3 Verschiedenes

5.5 Larynx
5.5.1 3D- und virtuelle Endoskopie
5.5.2 Evaluation von Kehlkopfkarzinomen in der MRT
5.5.3 Klassifikation des Larynxtraumas in der CT
5.5.4 Vergleich in der flexiblen Laryngoskopie – herkömmliche fiberoptische Technik und distale Chiptechnologie
5.5.5 Innovative Techniken zur optischen Visualisierung von Larynx-prozessen – Stellenwert der optischen Kohärenz-Tomographie

5.6 Hals
5.6.1 Die Aussagekraft der Kontrastmittel-CT bei tiefen Halsabszessen
5.6.2 Methoden zur Darstellung und Differenzierung von Halslymphknoten

5.7 Onkologie mit Schwerpunkt PET und PET-CT
5.7.1 Präoperatives Staging bei Kopf-Hals-Tumoren
5.7.2 Bildgebung zur Beurteilung des Therapieverlaufes
5.7.3 Posttherapeutische Bildgebung

5.8 Schilddrüse
5.8.1 Ultraschall der Schilddrüse
5.8.2 CT und MRT der Schilddrüse
5.8.3 Bildgebung bei Schilddrüsen-Karzinomen

5.9 Bildgebung beim Malignen Melanom

5.10 Digitale Volumentomographie

Besonders wichtige Arbeiten sind im Text und im Literaturverzeichnis **fett** gedruckt.

5.11 Navigation und Robotik
5.11.1 Navigation
5.11.2 Robotik und Mechatronik

5.12 Literatur

5.1 Speicheldrüsen

5.1.1 Funktionsdiagnostik

Die diffusionsgewichtete MRT zur Funktionsdiagnostik vor und nach Radiotherapie im Vergleich zur Szintigraphie

In den letzten Jahren hat die MRT die Szintigraphie zur Funktionsbestimmung der Speicheldrüsen weitgehend abgelöst. Neben Methoden der MR-Sialographie untersuchen Dirix *et al.* die diffusionsgewichtete MRT (1). Diese basiert auf der Darstellung der Brownschen Molekularbewegung und kann so die Unterschiede der Beweglichkeit der Wassermoleküle in Geweben als Kontrast darstellen. Die Kontraste werden als so genannter *Apparent Diffusion Coefficient* oder ADC quantifiziert. Hohe Werte bedeuten hohen Wassergehalt und umgekehrt. Acht Patienten mit unterschiedlichen Kopf-Hals-Tumoren wurden mit der IMRT-Methode oder 3D-CRT bestrahlt. Die mittlere Strahlendosis der ipsilateralen Gl. parotis betrug 53,9 Gy, die der kontralateralen Drüse 20,0 Gy. Während vor der Bestrahlungstherapie der typische Verlauf der ADC-Werte mit einem Absinken nach Stimulation (Entleerung der Drüse) mit nachfolgendem Anstieg beobachtet werden konnte, war dieser Verlauf nach der Bestrahlungstherapie nur in den kontralateralen Parotiden zu beobachten. Die mit der höheren Dosis bestrahlten ipsilateralen Drüsen zeigten höhere ADC-Werte (Ödem!) ohne den biphasischen Verlauf. Diese korrelierten gut mit der als Goldstandard durchgeführten Speicheldrüsen-Szintigraphie.

Kommentar: Erste Machbarkeitsstudie zur Objektivierung der Drüsenfunktion nach Radiotherapie mit noch geringer Fallzahl. Die Szintigraphie als Goldstandard der Funktionsuntersuchung der Speicheldrüsen wird vermutlich bald durch diese neuen Methoden der MRT abgelöst.

5.1.2 Speichelgangsdarstellung

5.1.2.1 Endoskopie

Die virtuelle CT-Sialendoskopie im Vergleich zur konventionellen Speicheldrüsenendoskopie

Eine chinesische Arbeitsgruppe berichtet erstmals in einer *in-vitro*-Untersuchung über den Vergleich der CT-basierten dreidimensionalen Ausführungsgangdarstellung der Gl. submandibularis mit der Speichelgangs-endoskopie (2). Hierzu wurden 16 operativ mit Ausführungsgang entnommene Unterkieferspeicheldrüsen direkt postoperativ endoskopiert, danach erfolgte eine CT-Sialographie mit entsprechender 3D-Darstellung und der Möglichkeit einer virtuellen Endoskopie. Zusätzlich erfolgte dann eine anatomische Plastinierungsstudie. Als Ergebnis halten die Autoren fest, dass die 3D-Sialendoskopie eine vergleichbare, nicht invasive und zuverlässige Methode zur Beurteilung von Speichelgängen ist.

Kommentar: Die virtuelle CT-Sialendoskopie stellt eine interessante Alternative dar, die gut für ein CT-gestütztes Trainingsmodell bei der Sialendoskopie dienen kann. Eine direkte Beurteilung des Ganglumens bei unklaren Schwellungen der Speicheldrüsen (Farbe, Gefäße, Konsistenz) ist nicht möglich. Auch die bei der Speicheldrüsenendoskopie gleichzeitig durchführbaren interventionellen Schritte entfallen bei der virtuellen

Endoskopie. Darüber hinaus kann auch mit Hilfe der MR-Sialographie nicht-invasiv und ohne Kontrastmittel das Ganglumen beurteilt werden.

Die sialendoskopisch basierte Klassifikation von Stenosen des Stenon-Ganges

Koch *et al.* beschreiben anhand von 111 sialendoskopisch diagnostizierten Stenosen des Stenon-Ganges eine neue Klassifikation dieses Krankheitsbildes (**3**). Die Kriterien der Einteilung beruhen auf der Beschaffenheit der endoskopisch sichtbaren Gangwandung, der Länge der Stenose sowie der Ausdehnung des Ganglumens. Typ I: gekennzeichnet durch akut entzündliche Veränderungen des Epithels mit variierendem Stenosegrad (16,1 %), Typ II: chronisch fibrosierende Veränderungen des Gangepithels mit einer Gangverengung unter 50 % des Gesamtlumens (18,3 %), Typ III: chronische Veränderungen mit ausgeprägten diffusen Stenosen des Ganglumens (>50 %, langstreckig) (66,6 %). Die Einteilung hat insofern eine wichtige klinische Bedeutung, als sie die Indikation der jeweiligen Therapie vorgibt und gleichzeitig auch prognostische Aussagen zulässt.

Kommentar: Eine wichtige Untersuchung und Klassifizierung, die sich an dem bisher größten klinisch publizierten Krankengut orientiert und keine theoretischen Absichterklärungen enthält. Es werden neben der Klassifikation auch die therapeutischen Möglichkeiten genannt, die sich nach dem Grad der Stenosierung richten. Sie reichen von der alleinigen Dilatation mit Kortisonapplikation über Bougierungs- und Dehnungsmanöver bis hin zur Stenteinlage und Parotidektomie als *ultima ratio*.

5.1.3 M. Sjögren

Die Ultraschalldiagnostik bei der Diagnose des M. Sjögren und Sjögren-Syndroms befindet sich weiter in der klinischen Evaluation. So vergleichen Milic *et al.* (4) ein neues Scoring-System der Ultraschalluntersuchung der Gl. parotis und Gl. submandibularis mit den Befunden der Szintigraphie und Biopsie bei 135 Patienten. Die Scores im Ultraschall, der von einem erfahrenen Untersucher durchgeführt wurde, basierten auf dem Vergleich der Echogenität mit der Schilddrüse (0-1), der Echohomogenität der Speicheldrüse (0-3), der Detektion echoarmer und echodichter Zonen (jeweils 0-3) und der Abgrenzbarkeit der Drüsengrenze (0-1). Für beide Submandibulardrüsen und beide Parotiden ergibt sich somit ein maximaler Summations-Score von 48. Der Score der szintigraphischen Untersuchungen (maximal 12) setzte sich aus der szintigraphisch bestimmbaren Sekretionsrate nach Stimulation (3: <25 %; 2: 25 %-40 %, 1: 40 %-50 %, 0: >50 %) der Drüsen zusammen. Daneben wurden noch die klinischen Symptome wie Mund- und Augentrockenheit sowie die Labordiagnostik in die Studie eingeschlossen. In der statistischen Auswertung zeigte sich die Sonographie bei einem Cut-off-Wert von 18 als die beste Methode der Bildgebung mit einer Spezifität von 90,8 % und einer Sensitivität von 87,1 %.

Kommentar: Eine weitere Studie, die die Anwendbarkeit der Sonographie bei der Diagnostik des Sjögren-Syndroms zeigt. Von Vorteil sind die Nicht-invasivität der Untersuchung und die Möglichkeit einer problemlosen Follow-up-Untersuchung während der Therapie. Ob mit Hilfe des Ultraschalls die Lippenbiopsie entbehrlich wird, wie die Autoren diskutieren, bleibt sicherlich noch eine Zukunftsvision. Darüber hinaus ist die Integration der Methode in die Kriterien zur Diagnostik des Sjögren-Syndroms der AECG notwendig.

Regier *et al.* untersuchen, ob auch die diffusionsgewichtete MRT und die MR-Sialographie zur Diagnostik des Sjögren-Syndroms geeignet sind (5). Sie konzipierten eine Studie mit 52 gesunden Probanden und 13 Patienten mit gesichertem Sjögren-Syndrom. In beiden Gruppen erfolgten die Durchführung einer MR-Sialographie und einer diffusionsgewichteten MRT mit Ermittlung der gemittelten ADC-Werte der zu untersuchenden Speicheldrüse. In der Gruppe der gesunden Probanden zeigte sich ein mittlerer ADC-Wert, der sich nach Stimulation erwartungsgemäß erhöhte. Bei den 6 Patienten, die anhand der MR-Sialographie als Frühstadien eines M. Sjögren klassifiziert wurden, war primär ein signifikant erhöhter ADC-Wert mit einer weiteren Steigerung nach Stimulation nachweisbar, während die 7 Patienten im Spätstadium der Erkrankung signifikant niedrigere ADC-Werte mit einer nur geringen Steigerung nach Stimulation aufzeigten. Die Autoren schließen daraus, dass die diffusionsgewichtete MRT zusammen mit der MR-Sialographie ein weiteres Verfahren zur Diagnostik gerade der Frühstadien des M. Sjögren sein könnte, bevor mit anderen Methoden strukturelle Organveränderungen gesehen werden können.

Kommentar: Eine sehr bestechende Methodik zur Differenzierung des M. Sjögren und Sjögren-Syndroms. Hier müssen aber noch weitere Unter-uchungen an größeren Kollektiven und Vergleiche mit anderen bildgebenden Methoden den Stellenwert in Zukunft aufzeigen.

5.1.4 Speicheldrüsentumoren

Gewebedifferenzierung von Speicheldrüsentumoren

Habermann *et al.* untersuchten 136 Tumoren der Gl. parotis mit Hilfe der diffusionsgewichteten MRT mit Bestimmung des ADC-Wertes (**6**). Das Ziel bestand in einer möglichen präoperativen Differenzierbarkeit verschiedener histologischer Entitäten. Für die Auswertung der MRT wurde für jeden Tumor ein mittlerer ADC-Koeffizient (Pixel-für-Pixel-Analyse) berechnet. Aus allen histologisch gleichen Typen wurde dann ein weiterer Mittelwert des ADC bestimmt. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass sich pleomorphe Adenome (n=43) und myoepitheliale Adenome (n=6) aufgrund des signifikant höheren ADC von den übrigen Tumorentitäten sowie auch den untersuchten Malignomen abgrenzen lassen. Whartin-Tumoren (n=32) zeichneten sich durch einen mittleren ADC-Wert aus, der sich nicht signifikant von den untersuchten Malignomen, aber von den pleomorphen Adenomen unterschied. Andererseits hatte ein Whartin-Tumor im gesamten untersuchten Kollektiv den höchsten ADC-Wert. Die Autoren betonen daher, dass die Diagnose nicht ausschließlich auf der Basis des ADC durchgeführt werden kann und noch weitere klinische und kernspintomographische Kriterien in die Auswertung einbezogen werden sollten.

Kommentar: Bisher die größte Studie, die sich mit der diffusionsgewichteten MRT beschäftigt. Basierend auf der Beobachtung, dass gerade Zystadenolymphome häufig zystische Anteile enthalten, hätte man erwarten können, dass diese Tumoren die höchsten ADC-Werte erhalten (Beweglichkeit der Wassermoleküle). Positiv zu werten ist die kritische Auseinandersetzung der Autoren mit dem Ergebnis und der noch vorsichtigen Wertung aufgrund der kleinen Gruppengröße für seltene Tumoren und Malignome. Hier sind unbedingt weitere prospektive Untersuchungen notwendig. Matsushima *et al.* konnten im letzten Jahr bei nur 32 Patienten (HNO Update 2008) keine Korrelation zwischen Histologie und ADC nachweisen.

CT und MRT zur Darstellung pleomorpher Adenome auch der kleinen Speicheldrüsen

In einer retrospektiven Analyse untersuchten Kakimoto *et al.* die Bildgebung bei 50 pleomorphen Adenomen in der CT und MRT (7). Ausgewertet wurden die prinzipielle Detektierbarkeit der Läsion, die Tumorgrenzen, der Kontrast zwischen Tumor und umgebendem Gewebe, die Abgrenzung und Anreicherung nach KM-Gabe, die Darstellbarkeit der Kapsel und eine mögliche tumorbedingte Knochenresorption. Die pleomorphen Adenome waren neben der Gl. parotis (n=12) vor allem am Gaumen (n=23) und an der Gl. submandibularis (n=11) sowie anderen Lokalisationen untersucht worden. 22 Patienten erhielten beide Untersuchungsmethoden, bei 22 wurde nur eine CT, bei sechs nur eine MRT durchgeführt.
Im nativen CT wurden 77 % der Tumoren überhaupt detektiert, 90 % bei Gabe eines Kontrastmittels. In der koronaren Schicht wurden im Kontrast-CT nur 2/12 Tumoren des Gaumens dargestellt. Eine Tumorkapsel konnte im CT nicht sicher dargestellt werden. In der MRT wurden je nach Technik und Schnittebene 86-88 % der Tumoren dargestellt. Eine Tumorkapsel konnte hierbei in „vielen" Fällen dargestellt werden. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die MRT die Bildgebung der Wahl auch bei Tumoren der kleinen Speicheldrüsen ist. Probleme bei Darstellung der Adenome der Mundhöhle sind die Tumorgröße und Metallartefakte.

Kommentar: Die Studie ist insofern interessant, als sie sich mit pleomorphen Adenomen beschäftigt, die nicht nur in der Gl. parotis lokalisiert sind. Auch hier zeigt sich, dass die MRT dem KM-CT überlegen ist. Leider wurden von 50 Patienten nur 22 mit beiden Methoden zum direkten Vergleich untersucht. Problematisch erscheint die Aussage der Darstellung einer Kapsel in der MRT. Hier ist wohl eher das umgebende Fettgewebe gemeint, welches sich häufig kontrastierend darstellt.

Ein Vergleich der präoperativen MRT mit der Feinnadelbiopsie (FNAC)

Eine japanische Arbeitsgruppe untersuchte retrospektiv die Sensitivität und Spezifität von MRT und FNAC an 81 Patienten (60 benigne und 21 maligne Tumoren) (8). Die Sensitivität, Spezifität und Treffsicherheit der FNAC lag bei 90 %, 95 % und 94 %, die der MRT-Diagnostik bei 81 %, 92 % und 89 %. Statistisch waren die Unterschiede nicht signifikant. Die Kombination beider Methoden brachte keine Vorteile in der präoperativen Beurteilung. Die Autoren schließen daraus, dass eine der beiden Methoden zur sicheren Beurteilung ausreiche. Die MRT sei dann indiziert, wenn die FNAC eine Indikation zur Operation ergibt oder wenn zusätzliche morphologische Daten benötigt werden.

Kommentar: Wenn beide Methoden statistisch keine Unterschiede zeigen, dann würde es auch genügen nur eine MRT durchzuführen, denn wie häufig ergibt sich aus der FNAC keine OP-Indikation? Selbst bei negativer FNAC sollte eine Bildgebung zur weiteren Abklärung erfolgen. Diese ist nicht nur zur Dignitätsbestimmung, sondern vor allem zur Bestimmung von Lokalisation und Anzahl der Raumforderungen wichtig. Typisch ist, dass die Sonographie in dieser Arbeit überhaupt nicht erwähnt wird.

5.2 Ohr

5.2.1 Mittelohr

Otosklerose

Eine kanadische Arbeitsgruppe überprüfte eine CT-gestützte Gradeinteilung der Otosklerose hinsichtlich ihrer Genauigkeit und Reproduzierbarkeit (9). Zwei Neuroradiologen untersuchten retrospektiv 162 Felsenbein-CTs von Patienten mit Otosklerose und teilten den Befund nach der Graduierung von Symons und Fanning von 2005 ein: Grad 1 – nur das ovale Fenster ist betroffen; Grad 2 – partielle, „fleckförmige" Beteiligung der Cochlea, basale Windung (2a), mittlere/apikale Windung (2b), kombiniert (2c); Grad 3 – diffuse, „konfluierende" Beteiligung der gesamten Cochlea. Die Autoren beschreiben eine exzellente Übereinstimmung zwischen den beurteilenden Radiologen (95 %) sowie bei einem Beurteiler im zeitlichen Verlauf (96 %).

Kommentar: Die hier vorgestellte Einteilung der Otosklerose in drei Schweregrade aufgrund des CT-Befundes erscheint plausibel und verlässlich, wird bisher aber kaum verwendet.

Waldeck *et al.* stellen in einer Fallstudie eine wichtige Differentialdiagnose zur Otosklerose vor, die Hammerkopffixation (**10**). Neben dem klinischen und audiologischen wird auch der bildgebende Befund dargestellt, hier eine knochendichte Struktur zwischen Art. incudomallearis und Tegmen tympani sowie eine Kalzifizierung im Lig. mallei sup. im HRCT. Anmerkungen zu Therapieprinzipien runden die kurze, aber informative Kasuistik ab.

Cholesteatom

Thiriat *et al.* untersuchten retrospektiv die MR-Bildgebung, die bei 15 Patienten vor einer operativen Sanierung eines Cholesteatoms oder eines Abszesses durchgeführt worden war (11). Es handelte sich um diffusionsgewichtete MR-Sequenzen, aus denen der ADC ermittelt wurde. Beim Cholesteatom zeigte sich ein signifikanter höherer ADC-Wert als beim Abszess, im Fall eines infizierten Cholesteatoms ergab sich ein mittlerer Wert.

Kommentar: Die klinische Bedeutung dieser Berechnungen erschließt sich nicht unmittelbar.

Eine indische Arbeitsgruppe stellte Ergebnisse zum Einsatz einer CT-basierten virtuellen Otoskopie zur Beurteilung der Ossikel vor (12). Hierbei verglichen sie bei 33 Patienten mit Cholesteatom die zweidimensionalen Datensätze der HRCT mit 3D-Rekonstruktionen und einer daraus erstellten virtuellen Otoskopie hinsichtlich der Beurteilung 13 verschiedener Strukturelemente der Ossikel und deren Integrität, wobei die Ergebnisse mit dem intraoperativen Ergebnis verglichen werden konnten. Sowohl die HRCT als auch die virtuelle Otoskopie konnten eine Ossikeldestruktion präoperativ signifikant darstellen, wobei letztere eine etwas bessere Korrelation zeigte und v.a. kleine Strukturen wie den Proc. lat. mallei, den Proc. lenticularis incudis oder die Stapessuprastruktur besser darstellen konnte. Allerdings konnte die Stapesfußplatte hier nicht beurteilt werden.

Kommentar: Der Einsatz einer so genannten virtuellen Otoskopie zur präoperativen Beurteilung der Ossikeldestruktion durch ein Cholesteatom und ggf. Planung einer prothetischen Versorgung ist ein interessanter Ansatz, die Bedeutung für den klinischen Alltag bleibt fraglich.

Stapes-Prothesen

Zur Frage, inwieweit das Ergebnis einer Stapedotomie bezüglich der Lage der Prothese bildgebend überprüft werden kann, gab es in letzter Zeit mehrere Arbeiten, von denen zwei US-amerikanische vorgestellt werden sollen.

Warren *et al.* untersuchten acht Felsenbeinpräparate nach der Implantation von McGee-Pistons und SMart®-Pistons unterschiedlicher Länge und überprüften die Messungen des Felsenbein-CTs anschließend am Präparat (**13**). Bei der Titan-Prothese wurde die Eindringtiefe ins Vestibulum mit durchschnittlich 0,5 mm zu hoch eingeschätzt, bei der Nitinol-Prothese lag die Messung hingegen im Mittel 0,5 mm zu niedrig. Bei letzterem kommt hinzu, dass nur in zwei von vier Fällen die Prothese im Vestibulum identifiziert werden konnte. Die Autoren folgern, dass die Darstellbarkeit im CT vom Material der implantierten Prothese abhängt.

Hahn *et al.* haben in ähnlicher Weise zwölf Felsenbeinpräparate nach Implantation eines McGee-Pistons analysiert (14). Auch hier zeigten sich zu hohe Werte für die Messung der Eindringtiefe ins Vestibulum, in den axialen Schichten im Mittel 0,53 mm und in den koronaren Schichten im Mittel 0,68 mm. Außerdem ergab sich eine hohe Variabilität der Messergebnisse, z. B. bei Prothesen mit identischer Eindringtiefe oder bei der Wiederholung der Messung im zeitlichen Verlauf. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die CT nicht geeignet ist, die Lage einer Stapes-Prothese exakt und zuverlässig darzustellen.

Kommentar: Die Beurteilung von Stapes-Prothesen in der CT kann bei postoperativem Auftreten von v. a. vestibulären Symptomen von Bedeutung sein. Hier sind noch Verbesserungen des Verfahrens erforderlich, um die Zuverlässigkeit zu erhöhen.

Bei verschiedenen Mittelohr-Implantaten stellt sich häufig die Frage, ob eine MRT durchgeführt werden kann. Hierzu haben Bauknecht *et al.* eine interessante Studie vorgelegt, in der sie verschiedene Titan-Implantate (PORP, TORP und Paukenröhrchen) hinsichtlich Erwärmung und Bewegung in der MRT (1,5T sowie 3T) analysiert haben (**15**). Es zeigte sich keinerlei Erwärmung der Implantate und nur eine sehr geringe Beweglichkeit im Magnetfeld, die als Schwimmbewegung auf Moosgummi im Wasserbad dargestellt wurde, Geschwindigkeit 0,0004-0,0014 m/s. Diese messbaren Kräfte waren allerdings bei 3T stärker als bei 1,5T, so dass die Indikation für ein 3T-MRT hier streng geprüft werden sollte.

Kommentar: Gängige Mittelohr-Implantate aus Titan wie PORP, TORP und Paukenröhrchen sind „MRT-sicher". Hier ist mit keiner Dislokation oder schädigenden Erwärmung zu rechnen.

5.2.2 Innenohr

Intratympanale Gadolinium-Applikation

Die Darstellung von Innenohrstrukturen mittels MRT, insbesondere der perilymph- und endolymphhaltigen Räume, wird intensiv untersucht und weiterentwickelt. Hier ist die intratympanale (i.t.) Applikation von Kontrastmittel ein relativ neuer, vielfältig diskutierter Aspekt.

Zou *et al.* legten eine ausführliche Arbeit zur MRT-Darstellung der Innenohrstrukturen bei Meerschweinchen und Menschen nach i.v. bzw. i.t. Applikation von Gadolinium (Gd) vor (16). Im Tierversuch mit einem 4,7T-MRT zeigte sich nach i.v.-Gabe die Anflutung von Gd zunächst im Modiolus, dann in der Scala tympani und anschließend in der Scala vestibuli. Die Scala media zeigte praktisch keine KM-Aufnahme. Nach i.t. Applikation zeigte sich ein deutlich stärkeres Signal. Nach Lärmexposition stieg die Signalintensität um 40-70 %, in der Scala media sogar um 90 %. Ein mechanisch erzeugter Endolymphhydrops führte zu keiner KM-Aufnahme in der Scala media, ein inflammatorisch bedingter hingegen schon. Zusätzlich zu den Meerschweinchen wurden vier Patienten mit M. Ménière oder Hörsturz nach i.t. Gd-Applikation untersucht (1,5T bzw. 3T). Hier zeigte sich eine Anflutung in der gesamten Perilymphe, mittels derer auch ein ggf. vorliegender Endolymphhydrops dargestellt werden konnte.

Kommentar: Die Perilymph- und Endolymphräume des Innenohres können in der MRT mit Gadolinium gut beurteilt werden. Eine transtympanale Applikation kann die Darstellbarkeit verbessern. Zou *et al.* geben Empfehlungen bei welcher Fragestellung die i.v. oder i.t. Applikation zu bevorzugen ist.

Die japanische Arbeitsgruppe von Nakashima *et al.* hat im vergangenen Jahr gleich drei Arbeiten zur intratympanalen Gadolinium-Applikation veröffentlicht (**17**, 18, **19**). Zunächst beschreiben sie bei 25 Patienten vor geplanter i.t. Applikation von Gentamicin oder einem Steroid die in der MRT gesehene Signalanhebung im Liquorraum des inneren Gehörganges 24 Stunden nach i.t. Applikation von Gd, die sich signifikant von der (nicht betroffenen) Gegenseite unterschied (**17**). Als Verbindungsweg zwischen Periplymphe und Liquor konnten sie lediglich den Modiolus darstellen (nicht den Ductus endolymphaticus oder den Canalis n. singularis).

Des weiteren verglichen sie zwei MR-Sequenzen in der Darstellbarkeit eines Endolymphhydrops bei 73 Patienten (18). Die sogenannte *Real Inversion Recovery* MRT (Real IR) zeigte hier eine bessere Darstellung des Endolymphraumes als die bekanntere *Fluid-Attenuated Inversion Recovery* MRT (FLAIR), allerdings war eine höhere Gd-Konzentration erforderlich. Die Autoren empfehlen eine achtfache Verdünnung der Gd-Flüssigkeit (vgl. unten). Es wird darauf hingewiesen, dass die MRT zur Diagnose eines M. Ménière ebenso beitragen kann wie zur Beurteilung einer geplanten transtympanalen Applikation eines Medikaments. Ein hochgradiger Endolymphhydrops kann die Ausbreitung im Perilymphraum erheblich beeinträchtigen.

Schließlich schlagen Nakashima *et al.* noch eine Einteilung des Endolymphhydrops sowohl des Vestibulums als auch der Cochlea vor, basierend auf Daten der MRT nach i.t. Applikation von Gd (**19**). Im Vestibulum liegt hiernach ein leichter bzw. schwerer Hydrops vor, wenn der Endolymphraum mehr als ein Drittel bzw. mehr als die Hälfte des

flüssigkeitsgefüllten Raumes einnimmt. Im Bereich der Cochlea orientiert sich die Einteilung an der Reissnerschen Membran, die beim Hydrops verlagert ist. Beim schweren Hydrops ist die Fläche des Dct. cochlearis größer als die der Scala vestibuli.

Im Rahmen der Zunahme der i.t. Applikation von Kontrastmittel stellt sich die Frage nach der Unbedenklichkeit bzw. nach möglichen unerwünschten Wirkungen. Hierzu gibt es ebenfalls eine Arbeit einer japanischen Arbeitsgruppe: Tanaka *et al.* haben vestibuläre Haarzellen von Ochsenfröschen präpariert und den Effekt von Gadolinium in unterschiedlicher Verdünnung untersucht (20). Es zeigten sich morphologische Veränderungen der Zellen bei 4-facher Verdünnung in 78 %, bei 8-facher in 44 % und bei 16-facher immerhin noch in 21 %. Keine Veränderungen zeigten sich bei 32-facher Gd-Verdünnung. Unter Berücksichtigung der Literatur (vgl. oben) halten die Autoren die 16-fache Verdünnung von Gd für gut geeignet zur Darstellung der Perilymph- bzw. Endolymphräume des Innenohrs.

Kommentar: Die intratympanale Applikation von Gadolinium bietet zahlreiche Möglichkeiten zur Darstellung der Perilymph- und Endolymphräume mittels MRT sowie zu vielfältigen Veröffentlichungen hierzu. Weiterentwicklungen, auch bezogen auf die klinische Anwendung, sind zu erwarten.

Bildgebung bei Kindern

McClay *et al.* analysierten retrospektiv die MRT-Daten von 170 Kindern mit sensorineuraler Schwerhörigkeit (Alter 1 Monat bis 17 Jahre, im Mittel 5,3 Jahre) in Bezug auf das Vorliegen von Fehlbildungen des Innenohrs oder anderer Anomalien (21). Ein auffälliger Befund zeigte sich bei 40 % der untersuchten Ohren, z. B. hatten 32 % eine dysplastische Cochlea, 18 % einen fehlgebildeten oder fehlenden N. cochlearis und 9 % eine Dysplasie des Vestibulums. Kombinationen dieser Fehlbildungen waren häufig. Bei 20 % der Kinder zeigten sich intrakranielle Pathologien, z. B. eine Gliose, Hirnstammdysplasie oder Tumoren. Bei Kindern mit höhergradiger Schwerhörigkeit zeigten sich mehr bzw. ausgeprägtere Anomalien, ebenso bei einseitiger im Vergleich zur beidseitigen sensorineuralen Hörminderung. Die Autoren empfehlen die MRT als Bildgebung der Wahl zur Abklärung einer kindlichen sensorineuralen Hörminderung.

Kommentar: Eine informative Übersicht zu Innenohranomalien und ihrer Darstellung in der MRT; die Ergebnisse sind allerdings nicht überraschend.

Eine US-amerikanische Arbeitsgruppe beschreibt in einer retrospektiven Studie das Vorkommen des SCCD-Syndroms bei Kindern (22). Hierzu wurden 131 Felsenbein-CTs von Kindern über 3 Jahren analysiert. Bei 18 Kindern (14 %) zeigte sich eine Dehiszenz eines Bogenganges, überwiegend des vorderen (14), z. T. aber auch des hinteren (5), nicht jedoch des lateralen. Eine Korrelation zu klinischen Symptomen oder zu Risikofaktoren konnte jedoch nicht hergestellt werden.

Kommentar: Eine Dehiszenz des vorderen Bogenganges kann auch bei Kindern beobachtet werden, hat aber beim Fehlen einer klinischen Symptomatik genau wie bei Erwachsenen keine Bedeutung.

Bildgebung bei Cochlea-Implantation

Isaacson *et al.* beschreiben die Möglichkeit, eine post-meningitische Labyrinthitis ossificans bei Kindern mit der MRT anstelle der HRCT zu diagnostizieren (23). Sie analysierten retrospektiv die präoperativen MRT-Daten von 25 Kindern vor Cochlea-Implantation und verglichen die Einschätzung bezüglich einer cochleären Obstruktion mit dem intraoperativen Befund und dem erforderlichen chirurgischen Vorgehen (z. B. Entfernen von Bindegewebe oder erweitertes Aufbohren). Es ergab sich bei jeweils einem falsch-positiven und einem falsch-negativen Befund eine Sensitivität von 94 % und eine Spezifität von 88 %.

Kommentar: In der Beurteilung der Durchgängigkeit der Cochlea vor der Implantation kann die MRT der HRCT überlegen sein, wenn eine nicht-knöcherne Obstruktion vorliegt. Gleichzeitig können Hirnnerven, Hirnstamm und Cortex mitbeurteilt werden (hier eventuell Befunde, die den Erfolg der Implantation limitieren können).

Coelho *et al.* berichten über den intraoperativen Einsatz der Durchleuchtung bei Implantation von *Common-Cavity*-Malformationen (24). Die Cochleostomie erfolgt hier ebenso unter Durchleuchtungs-Kontrolle wie die Insertion der Elektrode, um Verbiegung und Abknicken sowie ein Vorschieben in den inneren Gehörgang zu vermeiden. Vier Patienten wurden ohne Durchleuchtung implantiert, zwei davon zeigten eine suboptimale Lage der Elektrode mit intrameataler Lokalisation. Die Zahl der inserierten Elektroden war geringer als bei der Durchleuchtungs-Gruppe. Diese bestand aus 11 Patienten, die alle eine korrekte Lage der Elektrode und keinerlei Komplikationen sowie ein besseres Langzeitergebnis in Bezug auf Hörvermögen und Sprachentwicklung zeigten.

Kommentar: Der Einsatz der Durchleuchtung bei Cochlea-Implantation, insbesondere bei cochleären Malformationen, kann die Sicherheit einer korrekten Elektrodenlage erhöhen und Komplikationen verringern. Die Strahlenbelastung ist gering.

Bildgebung bei pulsatilem Tinnitus

Etwa 5 % der Tinnitus-Patienten beklagen einen pulsatilen, i.d.R. puls-synchronen Tinnitus. Die Ursachen hierfür können vielfältig sein, sind jedoch häufig vaskulären Ursprungs. Hierzu haben Madani und Connor aus London eine anschauliche und umfassende Übersichtsarbeit zusammengestellt (**25**). Zu den häufigen Ursachen zählen u. a. angeborene arterielle oder venöse Anomalien und arteriovenöse Malformationen, erworbene Vaskulopathien und Gefäßtumoren, seltener sind z. B. der idiopathische intrakranielle Hypertonus oder vaskuläre Metastasen eines Bronchial-, Mamma- oder Schilddrüsen-Karzinoms. Die Autoren empfehlen bei otoskopisch sichtbarer Raumforderung die Durchführung einer HRCT, bei unauffälligem otoskopischem Befund empfehlen sie eine CT-Angiogaphie und -Venographie, da hiermit ein weites Spektrum möglicher Ursachen abgedeckt werden kann. Eine konventionelle Angiographie ist nur in Ausnahmefällen erforderlich (kleine AV-Fisteln).

Kommentar: Eine informative Übersicht über die Differentialdiagnostik des pulsatilen Tinnitus mit vielfältigem Bildermaterial.

5.2.3 Optische Kohärenz-Tomographie

Zur Optischen Kohärenz-Tomographie (OCT) gab es bereits in den letzten Jahren erste Beschreibungen, v. a. im experimentellen, aber auch bereits im klinischen Umfeld (vgl. HNO Update 2008). Zu diesem noch relativ unbekannten bildgebenden Verfahren finden sich nun einige neue Anwendungsberichte, von denen exemplarisch zwei vorgestellt werden sollen.

Pau *et al.* beschreiben den Einsatz der OCT bei der Cochleostomie (**26**). Sie führten an fünf Felsenbein-Präparaten eine Cochleostomie dergestalt durch, dass zunächt die knöcherne Schneckenwand aufgebohrt wurde, die Endostealmembran jedoch erhalten blieb. Anschließend wurde mittels einem in das Operationsmikroskop integriertem System eine OCT der membranösen Strukturen durchgeführt. Hierdurch konnten die Scala tympani, Scala vestibuli und die laterale Anheftung der Basilarmembran zuverlässig identifiziert werden. Mit Hilfe der OCT wäre daher beim CI eine sicherere Implantation in die Scala tympani realisierbar.

Eine amerikanische Arbeitsgruppe führte bei 10 Patienten und damit erstmals *in vivo* eine OCT des Trommelfells durch (27). Hierbei konnten die verschiedenen Schichten dargestellt und die Dicke bestimmt werden, z. B. eine Verdickung durch Hyperkeratose bei Cholesteatom oder durch Tympanosklerose.

Kommentar: Die OCT stellt ein bildgebendes Verfahren dar, das mit unschädlichen Lichtwellen arbeitet, keinen direkten Kontakt mit den zu untersuchenden Strukturen erfordert (vgl. Ultraschall) und Schnittbilder mit einer hohen Auflösung liefert. Die bislang vorliegenden Beschreibungen zeigen vielfältige Einsatzmöglichkeiten auf. Insbesondere die Rostocker Arbeitsgruppe zeigt hier ein bemerkenswertes Engagement mit vielversprechenden Ansätzen.

5.2.4 Innerer Gehörgang und Kleinhirnbrückenwinkel

Clift *et al.* untersuchten, ob eine Kompression des N. cochlearis durch die A. cerebellaris ant. inf. (AICA) für eine einseitige sensorineurale Hörminderung verantwortlich sein kann (**28**). Retrospektiv analysierten sie die MRT-Daten von 53 Patienten mit asymmetrischer sensorineuraler Hörminderung, bei denen sich Schleifen der AICA zeigten, die dem N. cochlearis anlagen oder in den inneren Gehörgang ragten (in 96 % bilaterales Vorkommen). Eine Korrelation zwischen dem Vorliegen eines aberranten AICA-Verlaufes und der Hörminderung konnte nicht aufgezeigt werden. Jedoch zeigte sich auf den betroffenen Seiten ein verringerter Durchmesser des N. cochlearis. Hier scheint ein weiterer ätiologischer Faktor eine Rolle zu spielen.

Eine koreanische Arbeitsgruppe beschreibt das Vorkommen einer isolierten Labyrinth-Ischämie als initiale Manifestation eines Territorialinfarktes des AICA-Stromgebietes (29). Von 54 Patienten, bei denen in der MRT ein AICA-Infarkt diagnostiziert wurde, zeigten vier (7,4 %) initial lediglich die Symptome einer labyrinthären Ischämie in Form von akutem Drehschwindel und Hörminderung. Weitere neurologische Defizite zeigten sich in diesem Stadium nicht, und die Ischämie war in der Bildgebung nicht darstellbar. Im weiteren Verlauf entwickelten die Patienten jedoch weitere neurologische Symptome; die MRT zeigte entsprechend eine hyperintense Läsion im AICA-Stromgebiet als Ausdruck des ischämischen Insultes.

Kommentar: Bei der klinischen Verdachtsdiagnose einer akuten peripher-vestibulären Störung sollte differentialdiagnostisch eine Ischämie im AICA-Stromgebiet auch bei Fehlen weiterer neurologischer Symptome und unauffälliger Bildgebung „im Hinterkopf" behalten werden.

Auf die Bedeutung der Bildgebung (CT und MRT) vor Cochlear Implantation wurde bereits hingewiesen (vgl. oben). Eine italienische Arbeitsgruppe betont einen weiteren Aspekt: Eine mögliche Aplasie des N. cochlearis, die eine erfolgreiche CI-Versorgung unmöglich macht (30). Retrospektiv wird über 28 Kinder mit einer Cochlearis-Aplasie berichtet, die mittels MRT diagnostiziert werden konnte. Bei 57 % zeigte sich eine zusätzliche Malformation des Labyrinthes. Interessanterweise hatten 39 % der Kinder einen inneren Gehörgang normalen Durchmessers, so dass die CT die Cochlearis-Aplasie nicht diagnostizieren konnte.

Kommentar: Eine Aplasie des N. cochlearis ist eine seltene, aber nicht zu vernachlässigende Differentialdiagnose der kindlichen Taubheit (ca. 1 %). Eine CI-Versorgung ist hier kontraindiziert, alternativ sollte die Möglichkeit der Versorgung mit einem Hirnstamm-Implantat (ABI) evaluiert werden. In der bildgebenden Diagnostik ist die MRT der CT überlegen.

Warren *et al.* beschäftigten sich in einer retrospektiven Analyse (25 Patienten) mit dem seltenen Fall einer zerebralen Metastasierung, die sich im Bereich des Kleinhirnbrückenwinkels manifestiert (**31**). Die Differentialdiagnose zu einem benignen Tumor (Schwannom, Meningeom) ist hier schwierig. Am häufigsten handelt es sich bei den dargestellten Fällen um eine Metastasierung bei Mamma-Ca (48 %), seltener lag ein Bronchial-, Colon-, Nierenzell-Ca oder ein Melanom als Primarius vor. Die metastatische Läsion war isointens in T1 mit deutlicher KM-Aufnahme, in der T2- und FLAIR-Sequenz zeigte sich eine Signalanhebung in der Umgebung als Ausdruck eines vasogenen Ödems. Es zeigten sich vier charakteristische Lokalisationen bzw. Ausbreitungswege: 1. entlang der Leptomeningen, 2. im Bereich des Flocculus mit Ausbreitung in die Zisterne, 3. entlang der Dura, 4. vom Plexus choroideus des vierten Ventrikels ausgehend. Zur differentialdiagnostischen Abgrenzung gegenüber einem Benignom tragen neben diesen Aspekten insbesondere auch der klinische Verlauf sowie die Vorgeschichte des Patienten bei.

Kommentar: Bei einer Raumforderung im Bereich des Kleinhirnbrücken-winkels sollte differentialdiagnostisch auch an eine Fernmetastasierung gedacht werden. Die Vorgeschichte eines malignen Tumorleidens, klinische Symptome wie z. B. Hirnnervenausfälle sowie weitere Läsionen im ZNS sind in diesem Zusammenhang als suspekt einzustufen.

5.2.5 Felsenbein

Pathologien der Felsenbeinspitze sind selten, das Cholesterolgranulom stellt hier jedoch die häufigste Entität dar. Aufgrund der anatomischen Lokalisation, insbesondere der Nähe zur V. jugularis int. und A. carotis int., ist eine exakte präoperative Bildgebung erfolderlich.

Isaacson *et al.* stellen in Form einer retrospektiven Beschreibung von drei Fällen die Möglichkeiten und Grenzen der bildgebenden Diagnostik, insbesondere bei großen Cholesterolgranulomen der Felsenbeinspitze vor (32). In der CT zeigt sich eine Läsion mit glattberandeter Knochendestruktion, in der MRT ein hyperintenses Signal sowohl in T1- als auch T2-Wichtung

(pathognomonisch!). Bei großen Granulomen kann die Knochendestruktion auch das For. jugulare und den Canalis caroticus betreffen, so dass dann die Gefäße nicht mehr sicher abgegrenzt werden können. Hier ist es durch eine CT-Angiographie bzw. CT-Venographie möglich, die anatomische Beziehung des Granuloms zur A. carotis int. und zum Bulbus v. jugularis genau darzustellen, so dass eine sichere Operationsplanung erfolgen kann.

Kommentar: Die Autoren empfehlen für Prozesse der Felsenbeinspitze die MRT als Bildgebung der Wahl. Bei großen Läsionen kann die CT-Angiographie wichtige Zusatzinformationen liefern (z. B. Planung des operativen Zugangs).

5.3 Nase/Nasennebenhöhlen/Nasopharynx

5.3.1 Äußere Nase

Über die Notwendigkeit einer Bildgebung bei der Diagnostik einer Nasenbeinfraktur sowie die Art des bildgebenden Verfahrens existieren verschiedene Auffassungen. Im letzten Jahr haben sich einige Arbeiten mit dem Einsatz der Sonographie bei dieser Fragestellung beschäftigt.

Gürkov *et al.* (**33**) verglichen in einer prospektiven Studie mit 80 Patienten die Genauigkeit der Ultraschalluntersuchung mit der konventionellen Röntgendiagnostik (seitliche Projektion sowie occipitomentale Projektion). Es zeigten sich bei Frakturen des Nasenrückens hohe Sensitivitäten (Ultraschall 98 %, Röntgen 88 %) und Spezifitäten (Ultraschall und Röntgen 95 %), bei Frakturen der lateralen Nasenwand jedoch eine signifikant höhere Sensitivität für den Ultraschall (98 % vs. 28 %) bei niedrigerer Spezifität (75 % vs. 94 %). Die Autoren folgern, dass die Sonographie das bildgebende Verfahren der ersten Wahl darstellen sollte.

Zu einer ähnlichen Schlussfolgerung kommt eine koreanische Arbeitsgruppe, die retrospektiv an Daten von 140 Patienten die Sonographie mit konventionelle Röntgen und CT verglich (**34**). Der Ultraschall erreicht hier eine Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit von jeweils 100 %. Die CT hingegen hat bei komplexen Frakturen (die durch Überlagerung oder Auseinanderdriften von Fragmenten definiert werden) eine Genauigkeit von 87 % und bei einfachen Frakturen von nur 68 %. Daher sollte der Ultraschall als Standardverfahren angewendet werden, zumal hiermit auch eine intraoperative oder posttherapeutische Kontrolle durchgeführt werden kann.

Kommentar: Beide Arbeiten belegen die Einsatzmöglichkeit der Sonographie in der Diagnostik von Nasenbeinfrakturen. Dies erscheint u. a. aufgrund der schnellen Verfügbarkeit und einfachen Durchführung (i.d.R. durch den behandelnden Arzt selbst) sowie den Einsatz z. B. bei Kindern und Schwangeren interessant.

Eine andere koreanische Arbeitsgruppe hat sich mit der sonographischen Darstellbarkeit von Gore-Tex®-Implantaten nach Septorhinoplastik beschäftigt (35). Sie kommt zu dem Ergebnis, dass die Implantate sehr genau als echoarme Strukturen abgegrenzt werden können, während sich eine Fremdkörperreaktion (Fibrose, Granulom) als echoreiche Struktur in der Umgebung des Implantats darstellte. Die Dicke der Implantate reduzierte sich

im postoperativen Verlauf um durchschnittlich 29 %, wobei keine Korrelation zur Dauer des postoperativen Intervalls festgestellt werden konnte.

In Chile wurden von einer gynäkologischen Arbeitsgruppe sonographische Messungen der Länge des Os nasale bei 1040 Feten im ersten Trimenon durchgeführt (36). Dabei ergab sich ein linearer Zusammenhang zwischen der Länge des Nasenbeins und dem Gestationsalter: 1,5 mm, 1,7 mm bzw. 1,9 mm in der 11., 12. bzw. 13. SSW. Die Autoren regen an, die Länge des Os nasale im Screening auf Chromosmenaberrationen (z. B. Trisomie 21) heranzuziehen.

Mit einer ähnlichen Fragestellung beschäftigte sich die Londoner Arbeitsgruppe von Persico *et al.* (37). Hier wurde im zweiten Trimenon bei 161 Feten sonographisch die Dicke der Haut über dem Os nasale, d. h. der kürzeste Abstand zwischen der Hautoberfläche und der kaudalen Grenze des Os frontale, bestimmt. Es ergab sich eine durchschnittliche Dicke von 2,4 mm in der 16. SSW und von 4,6 mm in der 24. SSW. Bei Feten mit einer Trisomie 21 (26 von 161) ergab sich in 73 % ein Wert, der über der 95. Perzentile lag. Damit kann die Messung der „pränasalen Dicke" nach Meinung der Autoren für das Screening auf Trisomie 21 im zweiten Trimenon herangezogen werden.

Kommentar: Zwei Arbeiten, die sich zwar mit der Sonographie der Nase beschäftigen, jedoch das ungeborene Kind untersuchen. Damit wohl eher für die gynäkologische Praxis interessant.

5.3.2 Nasennebenhöhlen

Kanagalingam *et al.* werteten CT-Aufnahmen von 257 Patienten dahingehend aus, ob der Befund einer Kieferhöhlenzyste einen Krankheitswert besitzt (**38**). In die prospektive Studie wurden Patienten aus einer Augenklinik eingeschlossen, bei denen eine CT durchgeführt wurde. Außerdem wurden die Patienten zu Beschwerden der Nase bzw. der Nasennebenhöhlen, zu Allergien und Asthma sowie zu Zahnproblemen befragt. Bei 36 % der Patienten fand sich eine, z. T. auch mehrere, Kieferhöhlenzysten. Es zeigte sich allerdings keinerlei Zusammenhang zwischen diesem Befund und subjektiven oder objektiven Hinweisen für das Vorliegen einer chronischen Sinusitis.

Kommentar: Die Untersuchung zeigt, dass der CT-Befund einer isolierten Kieferhöhlenzyste keine operationswürdige Pathologie darstellt.

White und Zhang, zwei Radiologen aus Nebraska, beschäftigten sich mit der kernspintomographischen Darstellung von Sekret in den Nasennebenhöhlen (39). Sie stellen u. a. dar, dass die aus diffusionsgewichteten Sequenzen ermittelten ADC-Werte mit höherem T2-Signal ebenfalls ansteigen und dass dies von der Zusammensetzung des Sekrets, insbesondere vom Proteingehalt, abhängt. Die ADC-Werte könnten daher zur Diagnostik entzündlicher Erkrankungen der Nasennebenhöhlen und zur Abgrenzung gegenüber tumoröser Erkrankungen beitragen.

Nemec *et al.* beschreiben anhand einer Untersuchung an 28 Patienten mit Beschwerden einer chronischen Sinusitis und einer Caldwell-Luc-Operation in der Vorgeschichte die Befunde, die sich nach diesem Eingriff in der CT der Nasennebenhöhlen finden (40). Bei allen Patienten zeigte sich der zu erwartende Knochendefekt der vorderen und medialen Kieferhöhlenwand, zusätzlich eine Verdickung und Sklerosierung der erhaltenen Wandstrukturen. In 92 % zeigte sich ein Kollaps der betroffenen Kieferhöhle. Eine

Schleimhautverdickung als Ausdruck einer chronischen Sinusitis fand sich bei 32 % nur in der operierten Kieferhöhle, bei 50 % zusätzlich in anderen Nebenhöhlen. In 10 % der Fälle hatte sich eine Mukozele der Kieferhöhle entwickelt.

Kommentar: Bei der Beurteilung eines NNH-CTs (u. a.) ist immer die Vorgeschichte des Patienten zu berücksichtigen. Nach Caldwell-Luc-Operation stellen Knochendefekte und Wandsklerosierungen normale postoperative Befunde ohne Krankheitswert dar.

Wang *et al.* analysierte den Einfluss einer Radiotherapie auf das NNH-System (**41**). Hierbei gingen sie der Fragestellung nach, inwieweit es nach einer adjuvanten Strahlentherapie bei Patienten mit einem NNH-Karzinom zu Veränderungen auf der kontralateralen Seite kommt. Sie untersuchten retrospektiv die Daten von 37 Patienten und stellten sie 10 Kontrollpatienten (ohne adjuvante RT) gegenüber. Vor der RT fand sich eine Verdickung der Schleimhaut bei 41 % und ein Lund-MacKay-Score von 0,68. 3 Monate nach der RT wiesen 73 % eine verdickte Schleimhaut auf, der Lund-MacKay-Score stieg auf 2,84. Diese Veränderungen waren statistisch signifikant und zeigten sich unaubhängig von Alter und Geschlecht sowie vom T-Stadium des Malignoms und der applizierten Gesamtdosis. Im weiteren Verlauf zeigten sich die Befunde wieder rückläufig.

Kommentar: Eine Radiotherapie im Bereich der Nasennebenhöhlen hat Auswirkungen auf die kontralaterale, nicht vom Tumor betroffene Seite, die im CT nachgewiesen werden können. Ob diese mit einer klinisch manifesten Sinusitis korrelieren, ist jedoch im Einzelfall zu prüfen. Eine Therapie sollte sich auch hier nach dem klinischen Befund und nicht nach dem CT-Bild richten.

Asthma bronchiale

Eine türkische Arbeitsgruppe untersuchte klinische und bildgebende Befunde bei 57 Patienten mit allergischem und 71 Patienten mit nichtallergischem Asthma (42). Es zeigte sich bei Patienten mit allergischem Asthma signifikant häufiger eine chronische Sinusitis, wobei v. a. die Ethmoidalzellen beteiligt waren. Diese Korrelation wurde durch das Vorliegen einer Hauststaubmilben- oder einer Pollenallergie noch verstärkt. Kein Zusammenhang ergab sich hingegen zwischen dem Schweregrad des Asthma bronchiale und dem Vorliegen einer chronischen Sinusitis bzw. dem CT-Befund.

Kommentar: Bei Patienten mit Asthma bronchiale sollte nicht nur eine ausführliche Allergiediagnostik durchgeführt, sondern auch frühzeitig das Vorliegen einer chronischen Rhinosinusitis abgeklärt werden, um die Therapie zu optimieren.

Zystische Fibrose

Orlandi *et al.* führten eine retrospektive Analyse von CT-Aufnahmen durch, die bei 45 erwachsenen Patienten mit Zystischer Fibrose (CF) im durchschnittlichen Alter von 29 Jahren (18-52 Jahre) erstellt worden waren (43). Dabei fanden sie eine Hypo- bis Aplasie der Stirnhöhle in 65,9 % und der Keilbeinhöhle in 74,2 %, die Kieferhöhle war mit 22,2 % deutlich seltener betroffen. Darüber hinaus zeigte sich eine Sklerose der Nebenhöhlen bei 84,4 %, hier v. a. im Bereich der Kieferhöhlen. Bei 16 % der Patienten fand sich eine Mukozele, überwiegend in der Stirnhöhle lokalisiert. Zusätzlich ergab

sich bei den Patienten ein hoher Lund-MacKay-Score als Ausdruck einer chronischen Sinusitis.

Kommentar: Dies ist (nach Angaben der Autoren) die erste Arbeit, die sich mit den CT-Befunden der Nasennebenhöhlen bei erwachsenen CF-Patienten beschäftigt. Auffällig sind die Häufigkeit einer Hypoplasie sowie einer Sklerosierung, die auf chronische Entzündungsprozesse im Rahmen der Grunderkrankung zurückzuführen sind.

Riechstörungen

Abolmaali *et al.* (Dresden) haben in einem Übersichtsartikel Empfehlungen zur Bildgebung bei Riechstörungen zusammengefasst (**44**). Hierbei heben sie die MRT als bildgebendes Verfahren der Wahl hervor. Die MRT könne die Beschaffenheit der Nasennebenhöhlen ebenso gut darstellen wie die CT, darüber hinaus könne das olfaktorische System aus Bulbus und Tractus olfactorius wesentlich besser untersucht werden. Besonders hingewiesen wird auf die Volumetrie des Bulbus olfactorius, die es ermöglicht, Bulbusaplasien oder -hypoplasien darzustellen sowie eine Änderung des Bulbusvolumens im Verlauf einer Erkrankung (z. B. auch posttraumatisch oder postinfektios) zu verfolgen.

Kommentar: Die Autoren weisen darauf hin, dass sich in Deutschland jährlich fast 80.000 Patienten mit Riechstörungen in HNO-Kliniken vorstellen und dass in drei Viertel der Fälle eine sinunasale Ursache vorliegt. Hier sollte eine adäquate Bildgebung – die MRT mit entsprechender Fragestellung an die Radiologen – fester Bestandteil der Diagnostik sein.

Invertiertes Papillom

Zwei Arbeiten von US-amerikanischen Arbeitsgruppen nehmen zum Einsatz des PET bzw. PET/CT in der Diagnostik des Invertierten Papilloms Stellung (45, 46). Cohen *et al.* stellen in einer retrospektiven Analyse fünf Fälle vor, in denen sich ein z. T. sehr hoher FDG-Uptake im Bereich eines noch nicht therapierten oder residualen Invertierten Papilloms gezeigt hatte. Die erfolgte histologische Untersuchung hatte in keinem Fall Hinweise für ein invasives Plattenepithel-Karzinom ergeben. Daher weisen die Autoren darauf hin, dass das PET/CT nicht geeignet sei, ein benignes Invertiertes Papillom von einem NNH-Malignom zu unterscheiden. Sinnvoll könne es in Einzelfällen zur Ausdehnungsbestimmung oder zur Darstellung eines residualen oder Rezidivbefundes sein. Lin *et al.* beschreiben den Fall eines Patienten mit einem T2-Hypopharynx-Karzinom, bei dem sich im PET/CT eine Anreicherung in der rechten Kieferhöhle gezeigt hatte. Hier wurde zunächst von einem malignen, vermutlich metastatischen Prozess ausgegangen, nach der operativen Entfernung zeigt sich histologisch jedoch ein benignes Invertiertes Papillom.

Kommentar: In der Bewertung von PET/CT-Befunden ist immer zu berücksichtigen, dass auch benigne Raumforderungen einen hohen FDG-Uptake zeigen können. Dies gilt insbesondere für onkozytäre Tumoren wie z. B. das Invertierte Papillom der Nasennebenhöhlen oder das Zystadenolymphom der Gl. parotis.

5.3.3 Virtuelle Endoskopie

In der aktuellen Literatur finden sich einige Arbeiten zur sogenannten virtuellen Endoskopie, die auf Grundlage von CT-Daten mit entsprechender Software berechnet wird und die „normale" optische Endoskopie sowie die Beurteilung der CT-Bilder in Zukunft ergänzen kann.

Strauß *et al.* stellen das System *Surgical-Planning-System „Sinus Endoscopy" (SPS-SE)* vor und berichten über erste Ergebnisse einer klinischen Anwendung bei 125 Patienten (**47**). Zum einen wurde die Genauigkeit der Darstellung im Vergleich zur optischen Endoskopie berechnet, zum anderen wurden sowohl die Ärzte, die das Verfahren testeten, als auch Patienten, denen „ihre" virtuelle Endoskopie gezeigt wurde, mithilfe von Fragebögen um eine Beurteilung des Systems gebeten. Die Bedienung und Darstellung wurde insgesamt positiv bewertet, allerdings zeigten sich bei der anatomischen Detailtreue Abweichungen von bis zu 11,1 mm; insbesondere im Bereich der mittleren Muschel zeigten sich hier Ungenauigkeiten. Vorteile zeigten sich z. B. durch die Möglichkeit, auch das Innere der optisch nicht zugänglichen Nebenhöhlen oder postoperative Ergebnisse darzustellen. Von den Patienten wurde das System dahingehend gelobt, dass sie ein besseres Verständnis für die Erkrankung und den geplanten Eingriff entwickeln konnten.

Eine japanische Gruppe berichtet über Erfahrungen mit einem ähnlichen System, das präoperativ bei neun Patienten eingesetzt wurde, um den Eingriff bzw. den Zugangsweg virtuell zu planen und zu simulieren (48). Zwar sei ein gewisses Maß an Erfahrung in endoskopischer NNH-Chirugie notwendig, um mit dem System eine realistische Simulation zu erstellen, dann könne die virtuelle Endoskopie jedoch dazu beitragen, die Sicherheit des Operateurs zu erhöhen und Risiken zu verringern. Damit stelle sie eine nützliche Ergänzung in der Planung und Durchführung einer NNH-Operation dar.

Und auch eine kroatische Arbeitsgruppe stellt erste Erfahrungen mit der virtuellen Endoskopie vor, die sie bei 320 Patienten durchgeführt hat (49). Es werden exemplarische *Screenshots* von verschiedenen Abschnitten der inneren Nase und der Nasennebenhöhlen gezeigt, um die Möglichkeiten der Methoden darzustellen. Die Autoren weisen darauf hin, dass es sich um ein nichtinvasives Verfahren handelt, das beliebig oft wiederholt werden könne und sich daher gut für Lern- und Lehrprozesse eigne. Darüber hinaus könnten Bereiche untersucht werden, die der herkömmlichen Endoskopie nicht zugänglich seien. Allerdings sei zu bedenken, dass mit der virtuellen Endoskopie keine Gewebeproben, Abstriche o. ä. genommen werden könnten.

Kommentar: Die Berechnung einer so genannten virtuellen Endoskopie aus dem Datensatz einer NNH-CT ist bereits mit verschiedenen Systemen möglich. Inwieweit sie im klinischen Alltag eingesetzt werden kann, um die Diagnostik und Therapie zu ergänzen, muss wohl noch weiter erprobt werden.

5.3.4 Nasopharynx

Kösling *et al.* aus Halle haben einen informativen Übersichtsartikel über die Bildgebung des Nasopharynx erstellt und berichten über die Charakteristika der häufigsten Befunde in diesem Bereich (50). Sie betonen, dass die MRT bei nasopharyngealen Raumforderungen das bildgebende Verfahren der Wahl darstellt, eine CT sollte nur bei Kontraindikationen gegen die MRT oder zur

Beurteilung einer Arrosion knöcherner Strukturen durchgeführt werden, dann in jedem Fall mit Kontrastmittel.

Als häufige Zufallsbefunde werden Tornwaldt- und Retentionszysten ebenso beschrieben wie die hyperplastische Rachenmandel, bei der die Differenzierung gegenüber einer malignen Raumforderung, insbesondere bei Erwachsenen, schwierig sein kann. Das juvenile Nasenrachenfibrom als häufigste benigne Neoplasie des Nasopharynx wird sowohl anhand seines Signalverhalten in der Bildgebung als auch seiner typischen Ausbreitungswege beschrieben.

Für das Nasopharynx-Karzinom existieren keine spezifischen bildgebenden Kriterien. Es zeigt sich in der CT meist muskelisodens mit geringem, in der MRT hingegen mit deutlichem Enhancement und muskelisointens in T1 sowie hyperintens in T2. Die genaue Ausbreitung kann in der MRT detaillierter beurteilt werden. Als Differentialdiagnose kommt neben einer hyperplastischen Rachenmandel auch ein (selten isoliert im Nasopharynx vorkommendes) Non-Hodgkin-Lymphom in Betracht, das allerdings kein infiltratives Wachstum zeigt.

Kommentar: Eine gute Übersicht zur Rekapitulation häufiger Befunde im Nasopharynx. Anschauliches Bildmaterial.

Eine chinesische Arbeitsgruppe analysierte auf der Grundlage einer retrospektiven Analyse der Bildgebung zu 924 Patienten mit Nasopharynx-Karzinom prognostische Faktoren der Lymphknoten-Metastasierung in Bezug auf Überleben und Rezidivfreiheit (51). Dabei werteten sie MRT-Daten aus, in Bezug auf Größe der Lymphknoten, betroffene Level und Halsseite sowie Vorliegen von extranodaler Ausbreitung oder Nekrose. Es zeigte sich u. a., dass sowohl die betroffene Seite als auch die Level und die extranodale Ausbreitung unabhängige prognostische Faktoren darstellten. Ein Befall des Level IV und der Fossa supraclavicularis (Level Vb) war hierbei mit einer signifikant schlechteren Prognose verbunden.

Die Autoren schlagen auf der Grundlage der MRT eine eigene N-Klassifikation vor: N1 = ipsilaterale Level Ib, II, III, Va, Retropharyngealraum, keine extranodale Ausbreitung; N2 = beidseitiger Befall oder extranodale Ausbreitung; N3 = Level IV, Fossa supraclavicularis (Level Vb).

Kommentar: Die Autoren halten die von Ihnen vorgeschlagene Klassifikation für objektiver als die übliche AJCC-Klassifikation. Ob hier tatsächlich ein Vorteil gewonnen werden kann, bleibt fraglich. Neue Klassifikationen können auch zu Verwirrung führen.

Abrigo *et al.* stellen eine retrospektive Studie über 20 Patienten vor, die nach Radio(chemo)therapie eines Nasopharynx-Karzinoms ein strahleninduziertes Malignom entwickelt haben (**52**). Eingeschlossen wurden Tumoren, die sich im Bestrahlungsfeld nach mehr als 3 Jahren entwickelten und sich histologisch vom primären Nasopharynx-Karzinom unterschieden. Am häufigsten entwickelten sich Plattenepithel-Karzinome (52 %) und Sarkome (29 %). Zu den häufigsten Lokalisationen zählten die sinusnasale bzw. v. a. maxilläre Region (Sinus maxillaris, Proc. alveolaris, harter Gaumen, Nasenhaupthöhle) sowie die Mundhöhle, der Oro- und Hypopharynx und der äußere Gehörgang. Nasopharynx, Keilbeinhöhle und Intracranium waren nur selten betroffen. Die Autoren weisen darauf hin, dass ein strahleninduziertes Plattenepithel-Karzinom bildgebend, weder von einem Rezidiv, noch von einem sekundären

Karzinom unterschieden werden könne, dass die Lokalisation hier aber die Verdachtsdiagnose stütze.

Kommentar: Das Risiko der Entwicklung eines strahleninduzierten Malignoms ist auch beim Nasopharynx-Karzinom aufgrund der verbesserten Prognose immer zu berücksichtigen. Die häufig betroffenen Lokalisationen sollten in der Nachsorge stets genau untersucht werden.

5.4 Mundhöhle/Pharynx

5.4.1 Bildgebung bei Schlafapnoe

Die Bildgebung bei der Schlafapnoe geht heute über die einfachen Methoden der Röntgenuntersuchungen hinaus. Immer wichtiger werden Verfahren wie CT oder MRT, die mit entsprechenden Techniken die Risikofaktoren und anatomischen Gegebenheiten bei Schlafapnoe-Patienten erfassen.

Eine japanische Arbeitsgruppe untersuchte die Anatomie des Oropharynx in Abhängigkeit von Geschlecht, Alter und Body-Mass-Index (53). Jeweils 19 männliche und weibliche Patienten, die hinsichtlich Alter und BMI gematcht waren, unterzogen sich einer CT. Alle Patienten stellten sich, entweder wegen habituellen Schnarchens, Schlafapnoe oder mit anderen kieferchirurgischen Problemen, zur Behandlung vor. Anhand der Datensätze wurde mehrdimensional die Anatomie zwischen der Spina nasalis anterior und der Spitze der Epiglottis verglichen. Männer hatten neben der signifikant höheren Körpergröße auch eine signifikant größere Gesamtlänge und Volumen des Oropharynx. Bei Männern wurde in Abhängigkeit vom Alter eine Verkleinerung der Länge des kaudalen Anteils des Oropharynx festgestellt, während sich das Volumen und die Länge der Weichteile des kranialen Oropharynx verminderten. Bei Frauen konnte kein signifikanter Zusammenhang nachvollzogen werden. Die Autoren folgern aufgrund weiterer statistischer Auswertungen, dass die Verlängerung der oberen Atemwege mit dem Alter eine erhöhte Kollapsneigung und damit Neigung zur Entwicklung einer Schlafapnoe bei Männern hervorruft.

Kommentar: Eine gut strukturierte prospektive Studie, die die anatomischen Veränderungen sehr gut erfasst und insbesondere durch die statistische Auswertung besticht. Es handelt sich um eine Grundlagenuntersuchung, die klinisch bekannte Fakten wissenschaftlich untermauert und in der CT darstellt.

Koren *et al.* untersuchten im CT die Durchmesser und Engstellen des Oropharynx (PNR: Verhältnis zwischen dem Durchmesser auf Höhe des harten Gaumens und dem geringsten Durchmesser des Oropharynx) und die Kontaktzonen zwischen Zunge und weichem Gaumen bei habituellen Schnarchern (n=34) und Schlafapnoe-Patienten (n=33) (**54**).
Bei OSAS-Patienten befand sich der geringste Durchmesser des Oropharynx regelmäßig auf Höhe des weichen Gaumens, die mittlere PNR war hier auch signifikant größer als bei den Schnarchern. Die Odds-Ratio für einen Schnarcher mit einer PNR >8,6, eine OSAS zu entwickeln, liegt bei 2,95. Allerdings gab es keinen Zusammenhang zwischen dem AHI und der PNR, d. h. die Enge des Oropharynx korrelierte nicht mit der Ausprägung der OSAS. Patienten, die im CT keinen Kontakt zwischen Zunge und Gaumen zeigten und an einer Schlafapnoe litten, hatten einen signifikant höheren AHI.

Kommentar: Die Studie zeigt, dass zur Entwicklung eines OSAS eine deutliche Engstellung des Oropharynx erreicht werden muss. Die Schwere des OSAS wird dann vermutlich durch den Kontakt des weichen Gaumens mit der Zunge verursacht. Ein enger Kontakt scheint die Stabilität der Atemwege eher zu stabilisieren. Diese Beobachtung an einem kleinen Patientengut nimmt neben der Engstellung des Oropharynx im CT am wachen Patienten noch das Kriterium des Kontaktes der Zunge mit dem weichen Gaumen in die Bildgebung mit auf. Ein echter Grenzwert der Dimension der Engstelle der Atemwege zwischen Schnarchern und OSAS-Patienten konnte nicht gefunden werden.

Mundboden und Zungengrund sind prinzipiell der sonographischen Untersuchung mit hochauflösenden Schallköpfen sehr gut zugänglich. Neben der Zungenbinnenmuskulatur können insbesondere die A. lingualis und auch die Grenze der Zungenoberfläche ausgezeichnet dargestellt werden.

Lahav *et al.* untersuchten in einer ersten Studie den Zusammenhang der Größe des Zungengrundes im Ultraschall mit dem Apnoe-Hypopnoe-Index (AHI) (**55**). Sie untersuchten insgesamt 40 Patienten, die sich gleichzeitig einer Polysomnographie zum Ausschluss einer Schlafapnoe unterzogen. Sonographisch wurde die Distanz zwischen den Aa. linguales, der maximale Querdurchmesser des Zungengrundes, die Höhe des Zungengrundes, die Höhe der Zunge in Zungenmitte, im Bereich des Os hyoideum und die Länge des M. geniohyoideus vermessen. Der Abstand zwischen den Aa. linguales zeigte sich als der Parameter mit der besten Korrelation (0,557) mit dem AHI. Ein Abstand von mehr als 30 mm birgt ein 2,78-mal höheres Risiko, an einer mäßigen oder schweren Schlafapnoe zu leiden, unabhängig vom BMI. Der Abstand zwischen den Lingualarterien war ein besserer Parameter in der Vorhersage des Grades der Schlafapnoe als der BMI.

Kommentar: Ein interessanter und einfacher erster Ansatz, mit der Sonographie auf die Schwere und Ausprägung der Schlafapnoe zu schließen. Es sollten hier aber noch weitere Untersuchungen zur Bestätigung dieser Befunde an einem Normalkollektiv durchgeführt werden. Vielleicht auch ein Ansatz zur Therapiekontrolle?

Moriwaki *et al.* wendeten ein schnelles dynamisches MRT zur Untersuchung der oberen Atemwege an 31 Patienten während des Schlafes an (56). Es wurden hierbei die jeweiligen Lokalisationen der Obstruktion und die Einstellungen der CPAP-Beatmung untersucht. Die Aufnahmezeit pro Ebene in einer IR-Turbo-FLASHSequenz betrug 1,13 s. Die gesamte Aufnahmedauer für eine Serie betrug 11-14 s. Es wurden jeweils 15 Serien aufgenommen. Die gesamte Untersuchungszeit betrug dann 2-3 min. 18 Patienten zeigten eine Engstelle, davon 17 auf velopharyngealer Ebene. Bei den 13 Patienten mit mehreren Obstruktionen war diese Ebene immer mit betroffen. Der AHI und die Beatmungsdrücke der CPAP-Maske waren bei den Patienten mit multiplen Obstruktionen signifikant höher als bei singulärer Obstruktion. Die Autoren räumen selbst einige Schwächen der Methode ein: keine Differenzierung zwischen REM- und non-REM-Schlaf möglich, aufgrund der fehlenden 3D-Quantifizierung nur qualitative Aussagen möglich, aufgrund der zeitlichen Verzögerungen könnten die erhaltenen Bilder evtl. nicht in jedem Fall mit der Apnoephase korrelieren.

Kommentar: Die Autoren selbst schränken weiterhin ein, dass die zeitliche Auflösung des MRT noch besser werden müsste, um tatsächliche Obstruktionen sichtbar zu machen. Auf den Einfluss der Lautstärke der Messungen wird überhaupt nicht eingegangen. Es bleibt fraglich, wie viele Patienten hier im Laufe der 2-3 Minuten Untersuchungszeit nicht erweckt wurden.

5.4.2 Neue optische Methoden zur Identifikation oraler Neoplasien

Über eine *in-vivo*-Studie zur konfokalen Lasermikroskopie und der Erkennung von Dysplasien der Mundhöhle wird von einer Arbeitsgruppe aus Texas berichtet (**57**). Die konfokale Mikroskopie erlaubt es, hochauflösende Bilder aus einer definierten Tiefe durch Selektion des reflektierten Lichtes zu generieren. Die Auflösung erreicht dabei Größen wie bei der histologischen Untersuchung. Man könnte also von einer *in-vivo*-Histologie sprechen. Die Arbeitsgruppe entwickelte ein miniaturisiertes fiberoptisches konfokales Mikroskop in der Größe eines flexiblen Endoskops, welches es erlaubt, die zugängliche Mukosa bis in den Oropharynx zu untersuchen. Das Instrument wurde erstmals an acht Patienten an insgesamt 20 Lokalisationen mit normaler Mukosa und klinisch verdächtiger Schleimhaut eingesetzt. Bei Verdacht auf Malignität wurden Biopsien entnommen. Es konnten so erstmals die typischen Muster bei Darstellung von Normalgewebe, Dysplasien und Plattenepithelkarzinomen beschrieben werden. Die Plattenepithelkarzinome zeichneten sich durch ein ungeordnetes Gewebemuster mit Zellkernclustern aus. Eine qualitativ bessere Darstellung gelingt, wenn die Schleimhaut vorher mit Essig benetzt wird.

Roblyer *et al.* untersuchten 56 Patienten mit oralen Schleimhautveränderungen und 11 gesunde Probanden mit der Methode der Autofluoreszenz. Autofluoreszenz des Gewebes wird durch gewebeeigene fluoreszierende Stoffe wie NADH und FAD erzeugt (58). In neoplastischen Veränderungen ist bei Exzitation mit UV-Licht die Grün-Fluoreszenz erniedrigt und die Rot-Fluoreszenz erhöht. Mit Hilfe spezieller Filter können die Autofluoreszenz des Gewebes und deren Unterschiede sichtbar gemacht werden. Die Autoren verwendeten das sog. VELscope® der Fa. LED Dental Inc. (Kanada). Weißlicht und Autofluoreszenzaufnahmen bei Exzitation mit 365 nm, 380 nm, 405 nm und 450 nm wurden mit einem entsprechenden digitalen Mikroskop und einer CCD-Kamera aufgenommen und verarbeitet. Die Bilder wurden dann in bestimmten ROIs digital weiterverarbeitet, beurteilt und mit der entnommenen Histologie verglichen. Einer Trainingsphase mit 39 Patienten und 7 Probanden folgte eine Evaluationsphase und Validierungsphase mit 17 Patienten und 4 Probanden. Insgesamt wurden in der Trainingsphase 102 Lokalisationen und in der Validierungsphase 57 Lokalisationen untersucht. Jede Lokalisation wurde in ROIs eingeteilt, die entsprechend dem Verhältnis von Grün- zu Rot-Fluoreszenz ausgewertet wurden. In der Trainingphase erfolgte die Einstellung des Systems auf die idealen Auswertungsparameter. Optimale Werte für die Sensitivität und Spezifität von 95,5 % und 96,2 % wurden bei 405 nm erreicht. In der folgenden Evaluations- und Validierungsphase konnte bei diesen Einstellungen eine Sensitivität von 100 % und eine Spezifität von 91,4 % erreicht werden.

Kommentar: Beide Studien zeigen trotz der beschränkten Patientenanzahl und der noch nicht kommerziell erhältlichen Geräte eine interessante Entwicklung auf: Nicht nur die Primärdiagnostik, sondern vor allem auch die Nachsorge bei Tumorpatienten soll effizienter gestaltet werden. Können die

Geräte weiter miniaturisiert und automatisiert werden, dann ist es vorstellbar, dass es zu einer weiteren Verbreitung der Methoden kommt. Mundhöhlen- und Oropharynx-Karzinome bzw. deren Rezidive wären leichter zu erkennen.

5.4.3 Verschiedenes

Fremdkörper im oberen Aerodigestivtrakt: die Treffsicherheit der CT im Vergleich zur Endoskopie

Aus Hongkong wird über den Vergleich der diagnostischen Aussagekraft von CT und Endoskopie bei V. a. Fremdkörperingestion berichtet (59). Bei 193 Patienten mit V. a. Fremdkörper wurde vor der Endoskopie eine hochauflösende CT durchgeführt. Bei 38 Patienten wurde letztendlich im weiteren Verlauf ein Fremdkörper gefunden (26 Fischgräten, 4 Hühnerknochen, 6 Schweinknochen und 2 Krabbenschalen). Die Sensitivität, Spezifität, der positive und negative prädiktive Wert sowie die Treffsicherheit waren 78 %, 96 %, 75 %, 97 % und 94 %. 5 Fischgräten wurden nicht erkannt. Die Autoren folgern, dass eine CT bei V. a. Fremdkörperingestion bei negativer Endoskopie und anhaltenden Beschwerden indiziert ist.

Kommentar: Eine Studie, die zeigt, dass die Fremdköperdiagnostik vor allem auch von den Essgewohnheiten der Patienten abhängig ist. Die fünf nicht gefundenen Fischgräten waren alle nicht röntgendicht – dies ist typisch für die in Hongkong verspeisten Fische. Ansonsten kann man sich der Schlussfolgerung anschließen.

Die Szintigraphie zur Evaluation der Verteilung von Rachentherapeutika bei klinischer Anwendung

Mit Hilfe der Szintigraphie wurde überprüft, inwieweit bei Patienten mit akuter Pharyngitis Hustenbonbons, Tabletten, Sprays und Gurgellösungen an Ihren Wirkort gelangen (**60**). Es zeigte sich dabei, dass für Hustenbonbons und Tabletten die Abgabe der Dosis konstant und die Wirksamkeit am längsten erhalten blieb. Noch zwei Stunden nach der Einnahme war noch eine geringe Radioaktivität im Rachen nachweisbar. Die Dosis war bei Gebrauch von Hustenbonbons sogar signifikant höher. Gurgellösungen und Sprays schnitten deutlich schlechter ab.

Kommentar: Eine interessante Randbeobachtung, die einen bei der Pharyngitis vielleicht wieder an ein Salbeibonbon für die Patienten erinnern kann. Auf jeden Fall sind Lutschtabletten einem Spray vorzuziehen. Es scheint ein gewisser Reservoireffekt der Mundhöhle vorhanden zu sein.

5.5 Larynx

Die bildgebenden Verfahren der Wahl zur Darstellung von Anatomie und Pathologien des Kehlkopfes sind neben den optischen Verfahren der Mikroskopie und Endoskopie vor allem die CT und die MRT.

5.5.1 3D- und virtuelle Endoskopie

Mit Hilfe volumetrischer Datensätze ist es problemlos möglich, dreidimensionale Datensätze zu generieren und durch entsprechende Software die inneren Oberflächen von Hohlorganen darzustellen. Auf diese Weise ist es möglich, eine so genannte virtuelle Endoskopie in diesen Organen durchzuführen. Eine Studie von Beser *et al.* vergleicht hierzu am Larynx die konventionelle Laryngoskopie mit der virtuellen hochauflösenden CT-gestützten Laryngoskopie (61). Hierzu wurden insgesamt 38 Patienten, die über Heiserkeit klagten, in die Studie aufgenommen. In der konventionellen Endoskopie wurden die Schleimhaut, das Kehlkopflumen und die entsprechende Pathologie exakt beurteilt. Es erfolgte dann vor der operativen Abklärung mit Biopsie die CT-Untersuchung mit den Rekonstruktionen und eine verblindete Beurteilung der virtuellen Endoskopie. In der Histologie ergaben sich 8 Stimmbandpolypen, 4 Papillome sowie 11 Karzinome. Die Sensitivität, Spezifität und Treffsicherheit der virtuellen Endoskopie lag bei 88 %, 50 % und 76 %. Problematisch waren vor allem die Detektion kleiner oberflächlicher Tumoren und die falsche Zuordnung von mukösen Auflagerungen als tumoröse Läsion.

Taha *et al.* befassten sich prospektiv mit der virtuellen Tracheoskopie zur Evaluation postoperativer Trachealstenosen an 14 Patienten mit 17 intraoperativ verifizierten Stenosen (3 Patienten mit jeweils zwei stenotischen Segmenten) (62). Die radiologischen Befunde wurden mit der Endoskopie und dem operativen Situs hinsichtlich Lokalisation und Ausmaß der Stenosen verglichen. Ziel der Studie war es herauszufinden, ob die CT die Endoskopie ersetzen kann.
Es gab insgesamt neun Stenosen 4. Grades, vier 3. Grades und eine Stenose 2. Grades. Die Länge der Stenosen betrug 0,5-5 cm.
In der Endoskopie wurden 15 (88 %) der Stenosen diagnostiziert, zwei der distalen Stenosen blieben unentdeckt, weil das Endoskop die obere Engstelle nicht passieren konnte. Im CT wurden 16 (94 %) der Stenosen beschrieben, eine geringgradige Stenose wurde nicht als solche diagnostiziert. Die Aufnahme- und Verarbeitungszeit für die CT betrug ca. 25 min. pro Patient. 11 (79 %) der Aufnahmen waren von optimaler Qualität. Die Länge der Stenosen wurde im CT in 87 % (14/16) und in der Endoskopie in 73 % (11/15) richtig eingeschätzt. Eine Stenose wurde im CT falsch positiv eingeschätzt. Der Stenosegrad stimmte im CT in 94 % und in der Endoskopie in 86 % mit den intraoperativen Befunden überein. Die Stimmlippenbeweglichkeit konnte nur in der Endoskopie verifiziert werden.
Die Autoren folgern, dass Patienten mit flexibler Endoskopie und einer präoperativen CT ausreichend für einen operativen Eingriff zur Behebung einer Trachealstenose vorbereitet sind. Die starre Endoskopie in Narkose könne eingespart werden.

Kommentar: Trotz aller Fortschritte der modernen Bildgebung hat die virtuelle Endoskopie, die auf CT- oder MRT-Daten beruht, den Nachteil, dass die Oberflächen und die Beschaffenheit der Schleimhäute nicht dargestellt werden können. Andererseits gelingt es bei Raumforderungen, die tiefere Strukturen

betreffen, in der CT besser als in der Endoskopie, diese zu erfassen. Auch die haptischen Informationen, die man bei der starren Endoskopie mit den Instrumenten erhält, fehlen bei der CT und der virtuellen Endoskopie. Aus der Sicht des HNO-Arztes kann daher der richtige Weg immer nur in der Kombination beider Methoden liegen. Oftmals genügt dann auch die zweidimensionale Darstellung der Befunde in mehreren Ebenen. Entscheidend ist ein dreidimensionaler Datensatz dann, wenn navigierte Eingriffe geplant sind oder wenn die Datensätze als Übungsprogramm zur Veranschaulichung herangezogen werden. Die Endoskopie kann hierdurch nicht ersetzt werden.

5.5.2 Evaluation von Kehlkopfkarzinomen in der MRT

Die Evaluation von Larynxkarzinomen ist sowohl in der klinischen Beurteilung als auch in der Bildgebung immer wieder Gegenstand der Diskussion. Eine häufige Fragestellung ist die Tumorinvasion in den Knorpel, die das therapeutische Regime und die Prognose für den Patienten entscheidend verändern. Becker *et al.* untersuchten hierzu die Kriterien in der MRT (**63**).

An 121 Patienten, die sich einer Laryngektomie wegen eines Larynx- oder Hypopharynxkarzinoms unterzogen, wurden retrospektiv die präoperativen MRT-Aufnahmen (T2 und T1 mit KM) evaluiert und mit dem histologischen Präparat verglichen.

Neben den schon bekannten Kriterien der Knorpelinfiltration wurden neue Kriterien herangezogen, die zwischen Infiltration und lediglich peritumoraler Entzündung unterscheiden können. Die folgende Tabelle fasst die Kriterien zusammen:

	Signalintensität	
Gewebe und MRT-Sequenz	**verknöcherter hyaliner Knorpel**	**nicht verknöcherter Knorpel**
Normaler Knorpel		
T1-Wichtung	hoch	niedrig
T1 mit KM	kein Enhancement	kein Enhancement
T2-Wichtung	hoch	niedrig
Knöcherne Infiltration (alt)		
T1-Wichtung	niedrig	niedrig
T1 mit KM	alle	alle
T2-Wichtung	intermediär oder hoch	intermediär oder hoch
Knöcherne Infiltration (neu)		
T1-Wichtung	niedrig	niedrig
T1 mit KM	wie Tumor	wie Tumor
T2-Wichtung	wie Tumor	wie Tumor
Knorpelentzündung (neu)		
T1-Wichtung	niedrig	niedrig
T1 mit KM	ausgeprägter als im Tumor	ausgeprägter als im Tumor
T2-Wichtung	ausgeprägter als im Tumor	ausgeprägter als im Tumor

Die neuen Kriterien vergleichen die Signalintensität im Knorpel mit der Signalgebung im Tumor. Die Interpretation der Befunde wurde von jeweils zwei sehr erfahrenen Radiologen durchgeführt. Zunächst erfolgte die Interpretation ohne Wissen der klinischen Befunde nach den alten und neuen Kriterien der

T1- und T2-Bilder, im Abstand von 6 Monaten dann die Interpretation der T1-Bilder mit und ohne Gadolinium. Folgender Score wurde definiert: 1: sicher keine Infiltration, 2: wahrscheinlich keine Infiltration, 3: möglicherweise eine Infiltration, 4: wahrscheinlich eine Infiltration, 5: sicher eine Infiltration.

In den histologischen Präparaten der 121 Patienten war eine Knorpelinfiltration 49-mal im Schildknorpel, 26-mal im Ringknorpel und 28-mal im Arytaenoidknorpel nachweisbar. Jeweils 72, 77 und 128 der betreffenden Strukturen waren nicht infiltriert. Insgesamt lag die Rate der Knorpelinfiltration bei 24 %.

Hinsichtlich der Sensitivität der alten und neuen Klassifikation bei den T1/T2-Bildern war kein signifikanter Unterschied zu erkennen. Die neue Klassifikation zeigte aber eine höhere Spezifität bei allen drei Strukturen, insbesondere für den Schildknorpel, d. h. die richtig negativen Befunde (entzündliche Veränderungen) konnten besser erkannt werden. Für die Kombination T1 und T1 mit KM alt und neu ergaben sich keine Unterschiede. In den ROC-Kurven zeigte sich eine zwar geringe, aber dennoch signifikante Überlegenheit der neuen Klassifikationskriterien.

Von Ljumanovic *et al.* stammt eine retrospektive Untersuchung zum Erkennen des Ansprechens von Kehlkopfkarzinomen auf die Strahlentherapie (RT) (64). 80 Patienten mit T1- bis T4-Tumoren, die mit einer primären RT (median: 67 Gy) behandelt wurden, konnten in die Studie aufgenommen werden. 12 Patienten erhielten zusätzlich eine neoadjuvante Chemotherapie. Die Nachbeobachtungszeit betrug mindestens 24 Monate. Die Patienten wurden in dieser Zeit alle 2 Monate kontrolliert, bei V. a. Rezidiv erfolgte auch eine direkte Laryngoskopie, ggf. mit Biopsien. Die prä- und posttherapeutischen MRT-Untersuchugen in T1-, T2-, und T1-Wichtung mit KM wurden von zwei erfahrenen Radiologen ausgewertet.

Die posttherapeutischen Veränderungen in der MRT wurden wie folgt definiert:1: komplette Tumorremission, 2: fokale Asymmetrie <1 cm, verdächtig auf Residuum, 3: fokale Asymmetrie >1 cm oder weniger als 50 % Tumorreduktion - Tumorresiduum. Die MRT-Aufnahmen wurden 1-16 Monate nach Ende der RT durchgeführt (median: 4 Monate).

Im klinischen Verlauf entwickelten 38 der 80 Patienten (48 %) ein Rezidiv. Von diesen wurden 26 im MRT als Rezidiv eingeschätzt (1 falsch positiv), 33 Patienten wurden mit dem Score 2 (verdächtig auf Tumorrezidiv) beurteilt. Keiner der Patienten (n=21), die mit kompletter Tumorremission eingeschätzt wurden, entwickelten im Verlauf ein Rezidiv. Patienten mit dem Score 2 erlitten in 36 % ein Rezidiv. Besondere Beachtung schenken die Autoren den Aufnahmen in der T2-Wichtung. Die lokale Tumorkontrolle nach 2 Jahren betrug für in dieser Sequenz hypointense Raumforderungen 77 %, für isointense oder gemischte Raumforderungen 54 % und war signifikant schlechter für hyperintense Signale mit nur 15 %.

Die Autoren folgern, dass ein mindestens 4 Monate nach Radiotherapie durchgeführtes MRT ein verlässliches Verfahren zur Tumor-Reevaluation darstellt. Indikationen zur direkten Laryngoskopie ergeben sich bei asymmetrischen Befunden sowie hyperintensen Signalen in der T2-Sequenz. Ausgedehnte Tumoren bedürfen der besonderen Aufmerksamkeit.

Kommentar: Der Artikel von Becker *et al.* stellt eine methodisch hervorragende Arbeit dar, die dem Radiologen und auch dem onkologisch tätigen HNO-Arzt weiterhilft, MRT-Befunde richtig zu interpretieren. Die vorgeschlagene Klassifikation ist relativ einfach und klinisch orientiert. Bei der zweiten Arbeit aus den Niederlanden ist nicht so sehr die Bildgebung als vielmehr die hohe Rezidivrate von 48 % erstaunlich. Die lokale Kontrollrate kann mit der MRT gut überwacht werden. Sehr problematisch erscheinen die Patienten, die mit V. a. ein Tumorrezidiv eingeschätzt werden – diese bilden die größte Gruppe mit 42 % aller Patienten. Hier ist der Aufwand der wiederholten Bildgebung und Laryngoskopien nicht unerheblich.

5.5.3 Klassifikation des Larynxtraumas in der CT

Robinson *et al.* werteten die Daten von 41 Patienten nach Larynxtrauma retrospektiv aus (65). Die Ursachen des Traumas waren in 16 Fällen äußere Gewalteinwirkung, bei 13 Patienten Sportunfälle, 5 Stürze mit Trauma, 4 Unfälle im Haushalt und 3 Verkehrsunfälle. Die Autoren bringen die Klassifikation nach Schaefer von 1992 in Erinnerung, in der die Patienten nach CT und Klinik eingeteilt werden:

Grad 1:	kleinere endolaryngeale Einblutungen ohne Nachweis einer Fraktur (n=0)
Grad2:	Ödem und Hämatom, kleinere Schleimhauteinrisse, Knorpel von Gewebe bedeckt, eine nicht dislozierte Fraktur nachweisbar (n=8).
Grad 3:	massives Ödem, Einrisse in der Schleimhaut, freiliegender Knorpel, Stillstand einer Stimmlippe, dislozierte Fraktur (n=26).
Grad 4:	wie Grad 3 mit mehr als zwei Frakturen und massiver Schädigung der Schleimhaut (n=7).

Grad 1 und 2 sollten konservativ, Grad 3 und 4 operativ versorgt werden.

5.5.4 Vergleich in der flexiblen Laryngoskopie – herkömmliche fiberoptische Technik und distale Chiptechnologie

Eller *et al.* verglichen in zwei prospektiven Studien die diagnostische Qualität der herkömmlichen fiberoptischen Kehlkopfuntersuchung, einschließlich der Stroboskopie (Olympus ENF-L3, 4,2 mm), mit einem Endoskop mit distaler Chiptechnologie (Pentax VNL-1170) (**66**, **67**). Der Goldstandard als Vergleich war die starre Laryngoskopie. Jeweils 17 Patienten wurden von einem erfahrenen Laryngologen untersucht, davon jeweils 6 Patienten mit beiden flexiblen Endoskopen. Die in der Untersuchung generierten Videoaufzeichnungen wurden dann vier weiteren Gutachtern mit unterschiedlichem Ausbildungsstand vorgelegt. Für die Beurteilung des Stimmbandes insbesondere bei der Stroboskopie war die starre Laryngoskopie weitaus besser geeignet als die flexible Endoskopie. Die distale Chiptechnologie brachte keinen Vorteil gegenüber der normalen flexiblen Endoskopie. Die gleiche Einschätzung erbrachte der zweite Teil der Untersuchung zur Beurteilung von Refluxzeichen. Hier schnitt die „normale" flexible Endoskopie sogar etwas besser ab als die distale Chiptechnologie. Beide flexible Techniken wiesen allerdings signifikant weniger Refluxzeichen nach als die starre Laryngoskopie.

Kommentar: Beide Arbeiten bestätigen den Goldstandard der starren Laryngoskopie und Stroboskopie. Es ist beruhigend zu sehen, dass neue teure Techniken nicht immer auch besser sind. Hier können Investitionen zunächst zurückgehalten und auf Bewährtes zurückgegriffen werden.

5.5.5 Innovative Techniken zur optischen Visualisierung von Larynxprozessen – Stellenwert der Optischen Kohärenz-Tomographie

Die Optische Kohärenz-Tomographie oder OCT ist ein relativ junges bildgebendes Verfahren, das bisher vor allem in der Augenheilkunde Anwendung findet. Es ähnelt der Sonographie, verwendet aber Licht mit einer Wellenlänge nah am Infrarotbereich. Die Lichtwellen werden in das Gewebe eingestrahlt, gestreut und die rückgestrahlten Anteile anschließend detektiert. So ergeben sich Schnittbilder mit einer Auflösung von bis zu 15 µm bei einer Eindringtiefe von bis zu 2 mm.

Kraft *et al.* berichten von einer großen prospektiven Studie, in die insgesamt 201 Patienten mit 225 Kehlkopfveränderungen einbezogen wurden (**68**). Verwendet wurde ein fasergestütztes OCT-System der Fa. Optimec (Russland) mit einer Wellenlänge von 980 nm. Neben dem Operateur muss ein zweiter Untersucher die Untersuchung leiten, die Bilder dokumentieren und auswerten. Die Datenerfassung benötigt weniger als 5 min. Insgesamt standen zur Auswertung 217 (53 maligne, 34 präkanzeröse und 130 benigne) Kehlkopfveränderungen mit intraoperativen Gewebeproben zur Verfügung. Die diagnostische Aussage der OCT, die intraoperative Verdachtsdiagnose des Operateurs und die endgültige Histologie wurden miteinander verglichen. Die Sensitivität, Spezifität und Treffsicherheit der direkten Laryngoskopie betrug jeweils 91 %, die Werte in Verbindung mit der OCT waren signifikant besser mit 100 %, 95 % und 94 %. Die einzelnen Pathologien werden sehr schön im Vergleich mit den histologischen Abbildungen dargestellt. Wichtige Beurteilungskriterien sind die Epitheldicke (150 mm normal, 300 mm bei mäßiger, 450 mm bei schwerer Dysplasie oder Cis, 600 mm bei bei mikroinvasivem Karzinom). Gutartige Läsionen weisen eine intakte Basalmembran und eine nur geringe Epithelverdickung auf. Die Autoren empfehlen bei unklaren Kehlkopfveränderungen zunächst ein Screening mittels der Methode der Autofluoreszenz. Verdächtige Strukturen sollen dann in der OCT abgeklärt werden. Die Histologie als Goldstandard wird jedoch (noch) nicht ersetzt.

Kommentar: Die OCT stellt ein vielversprechendes zusätzliches Instrument zur Frühdiagnostik und ggf. auch zur Rezidivdiagnostik bei Kehlkopfkarzinomen dar. Inwieweit sie sich zu einer Routineuntersuchung entwickeln wird, hängt von der Auflösung, der einfachen Applikation und den Kosten ab.

5.6 Hals

5.6.1 Die Aussagekraft der Kontrastmittel-CT bei tiefen Halsabszessen

Die Kontrastmittel-CT ist heutzutage die Methode der Wahl zur Abklärung des Halses bei V. a. auf eine Abszedierung. Um die Treffsicherheit des CT zu überprüfen, führten Freling *et al.* eine retrospektive Analyse von insgesamt 76 Patienten von 2002 bis 2007 durch (**69**). Es wurden alle Patienten eingeschlossen, die letztendlich durch eine Punktion oder Operation oder im

klinischen Verlauf den V. a. einen Abszess aufwiesen. Die CT-Daten wurden von einem erfahrenen Kopf-Hals-Radiologen verblindet (d. h. ohne klinische Daten) auf die Qualität der Abbildungen und Lokalisation der Abszesse nachuntersucht.
Von den 76 in die Studie eingeschlossenen Patienten wurde radiologisch bei 65 ein Abszess (Flüssigkeitsansammlung) diagnostiziert, davon bei 18 Patienten falsch positiv. Bei 11 Patienten konnte die richtige Diagnose „kein Abszess" radiologisch gestellt werden. Eine falsch negative Aussage wurde nicht gestellt. Das einzig qualitative Problem der Bilder waren Artefakte von Zahnfüllungen oder Prothesen in immerhin 36 % aller Patienten. Dennoch waren in allen diesen Fällen zumindest Teile des Abszesses sichtbar. Wurde das Kriterium Flüssigkeitsansammlung mit KM-Anreicherung im Randsaum ergänzt, dann waren weniger falsch positive Fälle zu verzeichnen. Bei Anwesenheit von Luft ergab sich in allen Fällen ein Abszess.

Die Autoren leiten aus den Daten ab, dass ein Abszess sehr wahrscheinlich ist, wenn eine Flüssigkeitsansammlung größer als 3,5 cm mit oder ohne KM-Anreicherung im Randsaum oder Luft mit Flüssigkeitsansammlung oder freie Luft in mehreren Räumen zwischen den Halsfaszien vorhanden sind.

In Flüssigkeitsansammlungen <3,5 cm mit weniger als 50 % Randsaum kann zunächst ein konservativer Therapieversuch mit i.v.-Antibiose unternommen werden – bei 50 % der Patienten kam es hierdurch zu einer Restitutio.

Kommentar: Eine Studie mit guten Daten, leider fehlt ein zweiter erfahrener Auswerter und der Vergleich zur Sonographie. Gut ist vor allem die dargestellte klinische Relevanz, die sich aufgrund der CT-Diagnostik ergibt.

5.6.2 Methoden zur Darstellung und Differenzierung von Halslymphknoten

Eine südkoreanische Arbeitsgruppe verglich in einer aufwendigen Arbeit retrospektiv die Aussagekraft von Ultraschall, CT, MRT und PET/CT bei der Beurteilung zervikaler Metastasen bei Plattenepithelkarzinomen im Kopf-Hals-Bereich bei 76 Patienten (**70**).
Die Untersucher mussten die Befunde in sicher keine (1), wahrscheinlich keine (2), wahrscheinlich eine (3) oder sicher eine (4) LK-Metastase einteilen. Negativ war ein Score von 1 oder 2, positiv von 3 oder 4.
Die Kriterien für eine LK-Metastase im CT und MRT waren: maximaler axialer Durchmesser >15 mm im Level I und II oder maximaler axialer Durchmesser >10 mm im Level III bis VI oder zystische und nekrotische Anteile, runde Form und Clusterbildung. Im Ultraschall: Alle LK >7 mm, kein echoreicher Hilus, Längs-/ Querdurchmesser <2 sowie die bekannten Dopplerkriterien. Das Kriterium der Malignität im PET/CT war ein SUV >2,5. Für die Kombinationen der Methoden war ein LK dann positiv, wenn eine Methode den Score 4 erreichte oder die Summe der Scores der einzelnen Methoden geteilt durch die Anzahl der Methoden größer als 2,5 war.
Basierend auf diesen Daten konnten Werte für die Sensitivität, Spezifität und Treffsicherheit der einzelnen Methoden für den Vergleich mit der Histologie ermittelt werden: Die Treffsicherheit lag z. B. in einem Rahmen von 95,3 % (CT) bis 97 % (CT, MRT, US und PET/CT). Es ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen allen einzelnen Methoden und deren Kombinationen.

Eine Publikation von Schroeder *et al.* untersucht die Frage, ob bei einem cN0-Hals bei T1/2-Karzinomen eine PET weitere Erkenntnisse bringt (**71**). Von insgesamt 149 Patienten mit cN0-Mundhöhlenkarzinomen verblieben nach der Ultraschalluntesuchung noch 25 Patienten mit einem cT1/2 cN0-Tumor. Von diesen wurden 8 weitere Patienten wegen Zweittumoren, Diabetes mellitus und Serumglucosewerten von über 130 mg/dl ausgeschlossen.
Bei den 17 verbliebenen Patienten wurde je nach Tumorlokalisation eine ein- oder beidseitige Neck Dissektion durchgeführt. Insgesamt wurden 594 Lymphknoten histologisch, 237 in der MRT und 109 in der CT untersucht und ausgewertet. Bei 6 Patienten (35 %) ergab sich histologisch schließlich ein N(+)-Status. Die Größen der Metastasen in 7 Lymphknoten (4-14 mm) waren 1-4 mm. Die Treffsicherheit des CT, MRT und des PET bei einem cN0-Hals war lediglich 69 %, 39 % und 54 %.

Vandecaveye *et al.* untersuchten die diffusionsgewichtete und die Turbospinecho- (TSE) MRT zur Detektion von Halslymphknotenmetastasen an 33 Patienten mit Kopf-Hals-Karzinomen (72). Insgesamt wurden 13 einseitige und 20 beidseitige Neck Dissections durchgeführt. Von 650 Lymphknoten wurden 301 (>4 mm) im MRT dargestellt. 76 Lymphknoten waren Metastasen, davon 74>4 mm und 2<4 mm. Zehn Lymphknoten, alle kleiner als 8 mm, enthielten Mikrometastasen.
Bei der Auswertung der im MRT gefundenen Lymphknoten hatten die benignen Lymphknoten einen signifikant höheren ADC als die malignen Lymphknoten für alle Größen (> oder <1 cm). Basierend auf dem optimalen Cut-off-Wert betrug die Sensitivität, Spezifität und Treffsicherheit bei Lymphknoten >1 cm 94 %, 80 % und 90 %, bei Lymphknoten <1 cm lagen die Werte bei 76 %, 94 % und 92 %. Die Treffsicherheit der TSE-MRT betrug für die jeweiligen Größen 76 % und 85 %. Die Autoren schlagen daher vor, die diffusionsgewichtete MRT zum Ausschluss von Metastasen zusätzlich zu verwenden.

Alam *et al.* führten ähnliche Untersuchungen mit der sonographischen Methode der Elastographie an 85 Lymphknoten (53 reaktiv, 32 metastatisch verändert) durch (73). Die Elastographie beruht auf der Darstellung von verschiedenen Härten des Gewebes. Vermehrt harte Anteile im Lymphknoten sollen eher auf Metastasen hinweisen. Die Autoren klassifizieren daher 5 verschiedene Klassen von Lymphknoten: 1) keine oder nur geringe harte Anteile: gutartig, 2) harter Anteil <45 %: gutartig, 3) harter Anteil >45 %: bösartig, 4) harter Anteil in der Peripherie, zentral weich: bösartig, 5) gesamter Lymphknoten hart: bösartig. Die Kriterien der B-Scan-Sonographie beruhten auf den bekannten Kriterien. Die Untersuchung ergab folgendes Ergebnis:

Methode	**Sensitivität**	**Spezifität**	**Treffsicherheit**
B-Scan	98 %	59 %	84 %
Elastographie	83 %	100 %	89 %
Kombination	92 %	94 %	93 %

Die Autoren folgern, dass die Elastographie gerade wegen der hohen Spezifität trotz aller Einschränkungen eine gute zusätzliche Methode zur Abklärung von Halsmetastasen darstellt.

Interessant ist die Einschätzung von Halslymphknotenmetastasen vor allem auch nach Radiochemotherapie. Hier stellt sich bei vergrößerten Lymphknoten häufig die Frage, ob eine Neck Dissektion durchgeführt werden soll.

Rabaleis *et al.* verfolgten in einem Zeitraum von 5 Jahren insgesamt 428 Patienten mit PET/CT (74). 52 Patienten erfüllten die Einschlusskriterien der Diagnose eines Primärtumors im Bereich des Oropharynx, Hypopharynx, Larynx oder CUP mit Befall eines oder mehrerer Lymphknoten vor der Therapie, keine Fernmetastasen, keine operative Therapie, PET innerhalb von 6 Monaten nach Abschluss der Therapie und mindestens 9 Monate Follow-up. 10 dieser Patienten hatten ein positives PET im Verlauf. Letztendlich hatten 4 dieser Patienten einen Hinweis auf einen positiven Halsbefund (2 davon mit Neck Dissection). Von den 42 Patienten mit negativem PET hatte keiner einen Hinweis auf ein Tumorresiduum, davon 8 Patienten mit histologisch negativem Befund nach Neck Dissection. Aus dieser Untersuchung schließen die Autoren, dass ein negativer PET-Befund nach RCT ein guter Indikator für eine anhaltende Vollremission ist.

Kommentar: Unabhängig von der Art der Bildgebung existiert die Problematik der Mikrometastasen, die derzeit mit keiner Methode sicher erkannt werden können. Die Indikation zur elektiven Neck Dissection muss von der Wahrscheinlichkeit der Metastasierungshäufigkeit abhängig gemacht werden. So ist bei einer okkulten Metastasierung von T1/T2 Mundhöhlenkarzinomen von 35 % (cN0 mittels Sonographie) eine elektive Neck Dissektion zwingend indiziert. Die Kombination der Methoden erhöht zwar die Kosten, aber nicht die Aussagekraft. Ob die diffusionsgewichtete MRT oder die Elastographie in diesen Grenzbereichen hilfreich sein können, bleibt abzuwarten.

Die PET oder die PET/CT ist für die primäre Lymphknotendiagnostik sicher nicht indiziert. Im Follow-up ist ein negativer Befund im PET allerdings ein sehr zuverlässiger Marker für die Vollremission. Dies bereits im Zeitraum von sechs bis neun Monaten nach Therapieende.

Kriterien des extranodalen Tumorwachstums in der MRT

Das Vorhandensein extranodalen Tumorwachstums in zervikalen Lymphknoten hat entscheidenden Einfluss auf die Therapieplanung und auch auf die Prognose des Tumorleidens. Kimura *et al.* untersuchten die Möglichkeit, ein solches Wachstum bereits in der prätherapeutischen Bildgebung mittels MRT zu entdecken (75).
Sie untersuchten retrospektiv ein Kollektiv von 109 Patienten mit unterschiedlichen Kopf-Hals-Tumoren mit insgesamt 39 Halslymphknoten mit extranodaler Ausbreitung. Daneben kamen auch 130 Lymphknoten ohne extrakapsuläres Wachstum mit in die Auswertung. Folgende Kriterien für das Vorliegen oder Fehlen extranodalen Wachstums wurden angewendet: 1) Verschwinden des Fettsaumes zwischen dem Knoten und dem umgebenden Weichgewebe (unscharfe Begrenzung); 2) hoch-intenses Signal im interstitiellen Gewebe um den Lymphknoten und von diesem ausgehend (Flackerzeichen); 3) irreguläre oder unterbrochene Signalanreicherung in der Peripherie des Lymphknotens (Ausfransung); 4) Größe und Form des Lymphknotens.
Alle vier Parameter waren unabhängige Größen zur Vorhersage des extranodalen Wachstums bei metastatisch besiedelten Lymphknoten. Mit den verschiedenen Kriterien 1-3 konnten Sensitivitäten und Spezifitäten von 65-80 % bzw. 85-99 % erreicht werden. Am besten eignete sich mit hoher

Spezifität und hohem negativem Vorhersagewert das „Flackerzeichen". Kombinationen der einzelnen Kriterien brachten keine Verbesserung der Vorhersage.

Kommentar: Interessante Gesichtspunkte und Kriterien für die Festlegung eines Kapseldurchbruchs in der MRT. Eine Festlegung, dass dieser nicht vorliegt, ist relativ zuverlässig (Spezifitiät!). Eventuell ist dies für die Therapieentscheidung zwischen alleiniger Radiotherapie oder kombinierter Radiochemotherapie wichtig.

5.7 Onkologie mit Schwerpunkt PET und PET-CT

5.7.1 Präoperatives Staging bei Kopf-Hals-Tumoren

CT-Thorax zur Evaluation eines M1-Status

Die Entwicklung maligner Neoplasien der Lunge im Sinne von Fernmetastasen oder Zweitkarzinomen ist ein wichtiger Überlebensfaktor bei Patienten mit Kopf-Hals-Tumoren und beeinflusst entscheidend das therapeutische Vorgehen. Die Prävalenz von synchronen Tumoren der Lunge bzw. Metastasen eines Kopf-Hals-Karzinoms beträgt zwischen 6 % und 20 %. Die Durchführung eines Routine-Thorax-CT, dessen Zeitpunkt sowie der Kosten-Nutzen-Aufwand, werden kontrovers diskutiert, und es besteht noch keine klare Empfehlung. Die Röntgen-Thorax-Untersuchung ist das gängige Verfahren, um einen Lungenbefall bei Kopf-Hals-Tumoren zu detektieren.

Um die Rolle und den Nutzen der generellen Durchführung einer Thorax-CT als Screeningmethode zu testen, führten Hsu *et al.* eine retrospektive Studie an 192 Patienten über einen Zeitraum von 3 Jahren durch (76). Dabei handelte es sich in 159 Fällen um fortgeschrittene Tumorstadien. Insgesamt konnte in 29,3 % ein positiver Lungenbefund gefunden werden. In 66,7 % handelte es sich zunächst um undefinierte kleine (<1 cm) solitäre oder multiple Läsionen. In späteren Follow-up-CTs erwiesen sich fast alle kleinen Läsionen als maligne. Die Autoren gehen davon aus, dass 84 % der Lungenmetastasen innerhalb von 2 Jahren nach der Erstdiagnose eines Kopf-Hals-Karzinoms entstehen. Dafür werden folgende Risikofaktoren beschrieben: N2- oder N3-Lymphknotenstatus, UICC-Stadium IV, Rezidivtumoren sowie Fernmetastasen außerhalb der Lunge. Interessanterweise konnte keine Korrelation mit einer Perineuralscheideninvasion, lymphovaskulärer Invasion oder einem R1-Resektionsstatus festgestellt werden. Letztlich empfehlen die Autoren die Durchführung einer Thorax-CT alle 6 Monate bei Patienten mit den o. g. Risikofaktoren.

McLeod *et al.* führten bezüglich der Rolle der Thorax-CT eine sehr gute Metaanalyse durch (**77**). 24 Studien und ihre eigenen Ergebnisse wurden verglichen. 16 Autoren führten bei allen Kopf-Hals-Tumor-Patienten Thorax-CTs durch und 9 Autoren nur bei Risikopatienten. Die Gesamtsensitivität der CT zur Erkennung maligner Lungenläsionen betrug 84,6 % und die Gesamtspezifität 93,5 %. Die Prävalenz der positiven Lungenbefunde war bei Rezidivtumor-Patienten höher. Zur Indikationsstellung einer CT-Thorax kristallisierten sich die gleichen Risikofaktoren wie in der oben beschriebenen Studie von Hsu *et al.* heraus. Zusätzlich wurden Studien, die CT und konventionelles Röntgen verglichen, betrachtet. Die Sensitivität des

konventionellen Röntgen-Thoraxes war nur halb so hoch. Leider lag eine signifikante Heterogenität der Studienresultate vor (Cochrane Q=213,04), weshalb diese Ergebnisse mit Vorsicht zu betrachten sind.

Kommentar: Beide Arbeiten zeigen, dass bei Patienten mit bestimmten Risikofaktoren (siehe oben) die Durchführung einer CT-Thorax zur Detektion eines Lungenbefalls innerhalb der ersten 2 Jahre indiziert und einer konventionellen Röntgen-Thorax-Aufnahme vorzuziehen ist. Kritisch zu werten ist das retrospektive Studiendesign der ersten Studie, was möglicherweise zu einem Selektionsbias geführt hat. Prinzipiell ist aufgrund der guten Verfügbarkeit und der schnellen Untersuchung im Spiral-CT heutzutage mit dem Staging des Primärtumors ein gleichzeitiges Thorax-CT empfehlenswert und eigentlich State of the Art.

Die klinische Relevanz der Fusion von PET und MRT

Durch die Positron-Emissions-Tomographie (PET) erhält man einzigartige Darstellungen der metabolischen und molekularen Veränderungen in Geweben, was hervorragend in der Tumorsuche eingesetzt werden kann. Das Glukosederivat 2-Deoxy-2-[F-18]Fluoro-D-Glucose (^{18}FDG) wird hierbei als biologisch aktives Molekül verwendet. CT und MRT sind beide nicht-invasive Verfahren zum Staging von Kopf-Hals-Tumoren. Die Fusion von CT und PET ist ein bereits gut etabliertes Verfahren, um die anatomischen Ungenauigkeiten der PET auszugleichen. Die MRT hat gegenüber der CT Vorteile im Bildkontrast und der Darstellung von Weichteilen, was im Kopf-Hals-Bereich wichtig ist.

Ob die Fusion von MRT und PET ebenfalls im Kopf-Hals-Tumorstaging sinnvoll ist, haben Nakamoto *et al.* untersucht (78). 65 Patienten erhielten eine MRT und eine PET. Die MRT und die Fusionsergebnisse mit der PET wurden unabhängig voneinander untersucht. Die Sensitivität des PET/MRT war der des MRT sowohl bei der Primärtumorsuche (100 % vs. 98 %) als auch bei der Lymphknotendetektion (92 % vs. 85 %) und bei der Rezidivsuche (92 % vs. 67 %) überlegen. Signifikant war der Unterschied jedoch nur bei der Rezidiverkennung. Die Autoren empfehlen daher die Anwendung der PET/MRT nur bei einem Rezidivverdacht.

Kommentar: Die Studie zeigt sehr schön, dass aufwendigere Bildgebungs-Methoden nicht immer zu einem besseren Ergebnis führen. Bei der Primärtumorsuche und der Bestimmung des Lymphknotenbefalls ist die Fusion von MRT und PET nicht sinnvoll. Leider konnte auch die PET/MRT keine Mikrometastasen auffinden, was im Allgemeinen ein diagnostisches Problem darstellt. Ein großer Nachteil der Publikation ist der fehlende Vergleich mit der PET/CT, die weiten Einzug in die Tumorsuche im Kopf-Hals-Bereich gefunden hat. Ein Vorteil der PET/MRT gegenüber der PET/CT könnte die genauere Bestimmung der Tumorgrenzen sein.

Präoperatives Staging mit Ganzkörper-PET/CT, hochauflösender Kopf-Hals PET/CT und Kontrastmittel-CT im Vergleich

Für das optimale Bildgebungsverfahren im präoperativen Staging bei Kopf-Hals-Tumoren gibt es momentan noch keinen genauen Konsensus. Die bisher veröffentlichten Arbeiten über die PET bzw. PET/CT weisen große Unterschiede bezüglich der Sensitivitäten und Spezifitäten auf.

Rodrigues *et al.* haben 44 Patienten speziell in diesem Zusammenhang untersucht (79). Jeder Patient erhielt präoperativ eine optimierte Ganzkörper PET/CT, eine hochauflösende Kopf-Hals-PET/CT und eine reguläre Kontrastmittel-CT. Die Befunde wurden postoperativ mit dem histologischen Ergebnis verglichen. Alle Patienten wurden in einem kurativen Ansatz operiert. Das Ergebnis der Primärtumorsuche und des Lymphknotenbefalls wurde unabhängig voneinander bestimmt. Die besten Ergebnisse in der Primärtumoridentifikation erzielte die hoch-auflösende Kopf-Hals-PET/CT mit einer Sensitivität von 95 % und einer Spezifität von 85 %, gefolgt von der optimierten Ganzkörper-PET/CT (92 % und 100 %). Die bloße Kontrastmittel-CT war beiden PET-Untersuchungen deutlich unterlegen (71 % und 67 %). Bei der Kontrastmittel-CT kommen Zahnfüllungsartefakte stärker zum Tragen. Im Lymphknotenstaging war die hoch-auflösende Kopf-Hals-PET/CT nur in der Per-Level-Analyse bei kleinen Lymphknoten (<15 mm) besser. Insgesamt konnte die Ganzkörper-PET/CT gegenüber der Kontrastmittel-CT bei den Halslymphknoten keinen signifikanten Vorteil zeigen.

Kommentar: Zusammenfassend besagen die Ergebnisse, dass bei der Primärtumorsuche die Durchführung einer hoch-auflösenden Kopf-Hals-PET/CT hilfreich sein kann. Beim Lymphknotenstaging ist eine Kontrastmittel-CT suffizient. Leider wurde in der vorliegenden Studie kein Vergleich mit einer Ultraschalluntersuchung zum Lymphknotenstaging durchgeführt. Bei 6 der 44 Patienten handelte es sich um einen Cancer of Unknown Primary, aber auch hierbei war keine der Bildgebungsmodalitäten in der Lage, okkulte Tumoren sicher zu entdecken. Ein Vorteil der Studie gegenüber ähnlichen Untersuchungen ist, dass die CT-Ergebnisse in Form eines separaten Kontrastmittel-CTs erhoben wurden. Letztlich scheitert die breite Anwendung der Studienresultate an der zu geringen Patientenzahl.

5.7.2 Bildgebung zur Beurteilung des Therapieverlaufes

Standardized Uptake Value (SUV) im PET als prognostisches Kriterium

Durch die Anwendung der ^{18}FDG im PET liegt eine nicht-invasive Methode vor, den Glukosestoffwechsel in sämtlichen Tumoren zu bestimmen. Der FDG-Uptake ist mit verschiedenen Zellaktivitäten verbunden, wie z. B. der Proliferations- und Überlebensfähigkeit. Diese metabolischen Parameter sind weitestgehend unabhängig von morphologischen Veränderungen und bieten eine gute Möglichkeit, das individuelle Tumorverhalten zu prognostizieren. Im Folgenden werden zwei Arbeiten vorgestellt, in denen untersucht wurde, ob der Standardized Uptake Value (SUV) als Prognosekriterium herangezogen werden kann.

Torizuka *et al.* führten eine Studie an 50 neu diagnostizierten Kopf-Hals-Tumorpatienten durch (80). Alle Patienten erhielten zusätzlich zum regulären Staging ein ^{18}FDG-PET. In 46 Fällen konnte der Tumor im PET korrekt erkannt werden. T1- und T2-Tumoren wiesen einen signifikant niedrigeren SUV auf als T3- und T4-Tumoren (4,7 vs. 12,5). Beim Halslymphknotenstatus verhielt es sich ähnlich; 4,8 bei N0 und 11,4 bei N1- bis N3-Metastasen. Anhand der tumorfreien Überlebensrate konnte ein SUV von 7 als Grenzwert herauskristallisiert werden, d. h. Patienten mit einem SUV>7 zeigten in den Tumornachkontrollen ein schlechteres Ergebnis als die Patienten mit einem SUV $\leq$ 7. Ein hoher SUV war mit einem hohen T-Stadium korreliert. Demzufolge gehen die Autoren davon aus, dass ein hoher FDG-Uptake mit einer schlechten Prognose korreliert ist.

Da der Lymphknotenbefall für die Prognose eine extrem wichtige Rolle spielt, haben Liao *et al.* speziell den SUV der Lymphknoten (SUVnodal-max) untersucht (81). Dafür wurde eine prospektive Studie an 120 Patienten durchgeführt. Alle Patienten erhielten zwei Wochen präoperativ ein ^{18}FDG-PET und wurden mindestens 24 Monate postoperativ engmaschig überwacht. Die optimalen Grenzwerte des SUVnodal-max wurden anhand der tumorfreien 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit, des tumorspezifischen Überlebens und der allgemeinen Überlebenswahrscheinlichkeit bestimmt. Die Autoren fanden heraus, dass ein SUVnodal-max >5,7 ein unabhängiger Risikofaktor für die 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit bei Kopf-Hals-Tumoren ist. Hierbei konnte ein Zusammenhang zum extrakapsulären Tumorwachstum hergestellt werden.

Kommentar: Zwei interessante Studien zum Einsatz des FDG-Uptakes in der Prognoseabschätzung. Die Ergebnisse von Torizuka *et al.* decken sich mit denen früherer Studien. Liao *et al.* legen die erste prospektive Studie zur prognostischen Wertigkeit speziell für den Lymphknoten-Uptake vor.

5.7.3 Posttherapeutische Bildgebung

Radio-(Chemo)-Therapie-Evaluation mittels PET

Die PET wird zum posttherapeutischen Staging in vielen Ländern zunehmend herangezogen. Die Suche nach einem Residualtumor nach erfolgter Radiochemotherapie (RCT) ist einer der Hauptanwendungen der PET.

Schöder *et al.* fassen in einem Review den derzeitigen Stand der Anwendung von PET nach Radiochemotherapie zusammen und geben Hinweise zum klinischen Vorgehen je nach PET-Befund (**82**) Zusammenfassend kann gesagt werden, dass ein negativer ^{18}FDG-PET- oder PET/CT-Befund nach RCT einen negativen Vorhersagewert von >95 % hat. Es kann dann auf eine Neck Dissection verzichtet werden, v. a. bei einer Lymphknotengröße <1 cm. Neue PET-Modalitäten mit VEGF- oder Hypoxie-Sonden befinden sich in der Erprobung.

Martin *et al.* führten zum gleichen Thema eine retrospektive Studie mit 77 Patienten mit Kopf-Hals-Karzinomen (v. a. Naso-/Oro-/Hypopharynx und Larynx) über einen Zeitraum von 7 Jahren durch (83). Diese erhielten prätherapeutisch sowie durchschnittlich 12 Wochen nach Ende der RCT ein Staging mit CT, MRT und PET bzw. PET/CT. Hierbei konnten im PET bei 11 % unerwartete Fernmetastasen entdeckt werden. Bei 17 Patienten wurde ein Residualtumor gefunden. In 78 % führte die RCT zu einer kompletten Remission. Insgesamt erreichte die PET in der Studie eine Sensitivität von 82 % und eine Spezifität von 95 %. Die Autoren halten die PET gegenüber der klinischen Untersuchung und herkömmlichen Bildgebung (CT) für überlegen. Insgesamt sei es problemlos möglich, Patienten mit negativen PET-Befunden zu beobachten, was auch schon frühere Arbeiten bestätigten.

Yao *et al.* veröffentlichten eine ähnliche retrospektive Studie an 188 Patienten, die sich auf die Genauigkeit der PET nach alleiniger Radiotherapie bezieht (84). Die Ergebnisse wurden nach Hals- und Primärtumoren unterteilt. Am Hals erreichte die PET eine Sensitivität von 86 %, eine Spezifität von 97 % und einen negative Vorhersagewert von 99 %. Für die Primärtumorregion galten folgende Werte 86 %, 86 % und 98,7 %. Der positive Vorhersagewert lag in beiden Fällen deutlich niedriger, in der Primärtumorregion sogar bei unter

40 %. Dies führen die Autoren auf die häufigen postradiogenen Gewebsveränderungen wie z. B. Entzündungen und Ödeme zurück. Auch in dieser Arbeit geben die Autoren Hinweise zur Entscheidung einer möglichen Neck Dissection je nach PET-Befund. Ein abwartendes Verhalten bzw. erneute Bildgebung im Intervall wird bei negativem PET-Befund oder Lymphknoten <2-3 cm empfohlen.

Kommentar: In allen Studien erreichte die PET einen sehr guten negativen Vorhersagewert. Ein abwartendes Verhalten bezüglich der Neck Dissection bei negativem PET-Befund erscheint sinnvoll. Die Entscheidung zur Neck Dissection sollte allerdings nicht nur am PET-Befund und an der Lymphknotengröße allein festgelegt werden. Die Klinik und das Primärtumorverhalten müssen miteinbezogen werden. Um die Falschpositivrate niedrig zu halten, darf die PET nicht zu früh nach RCT durchgeführt werden; auf keinen Fall während postradiogener Entzündungen und Ödembildung. Empfohlen wird eine PET 8-10 Wochen nach RCT.

Welcher Patient profitiert von einer PET/CT-Kontrolle nach Radio-(Chemo)-Therapie?

Wie bereits aufgezeigt, kann eine PET bzw. PET/CT den Erfolg einer RCT beurteilen. Die Durchführung einer PET ist immer noch sehr aufwendig und kostenintensiv. Es erscheint daher sinnvoll, dies nicht in einem generellen Routineprogramm anzuwenden.

Moeller *et al.* haben die erste prospektive Studie zur Determination einer Patientenpopulation erstellt, die besonders von einer PET/CT nach RCT profitieren könnte (**85**). Gleichzeitig wird aufgezeigt, bei welchen Patienten eine alleinige Kontrastmittel-CT ausreichend wäre. 98 Patienten erhielten 4 Wochen vor und 8 Wochen nach RT bzw. RCT eine Kontrastmittel-CT und eine FDG-PET/CT. Die Ergebnisse wurden nach Hals- und Primärtumoren und nach Hoch- und Niedrigrisikopatienten unterteilt. Die PET/CT schnitt bei Hochrisikopatienten besser ab als die CT. Bei Niedrigrisikopatienten konnte die PET/CT gegenüber der alleinigen CT keinen Vorteil bringen. Dies galt sowohl für den Hals als auch für die Primärtumorregion. Als Hochrisikopatienten wurden Patienten mit Alkohol- und Nikotinanamnese, Tumoren außerhalb der Mundhöhle und HPV-negative Tumoren definiert. Zusätzlich wurde der SUV vor und nach Therapie verglichen. Erwartungsgemäß waren die SUV-Werte bei Nichtansprechen der Therapie höher. Dies galt wiederum für Hals und Primärtumorgebiet. Die Patienten sollten sorgfältig und risikoorientiert selektiert werden. Die Autoren empfehlen eine PET/CT nach RCT bei Hochrisikopatienten und eine Kontrastmittel-CT bei Niedrigrisikopatienten.

Kommentar: Eine gute prospektive Studie. Hier wird gezeigt, dass nicht nur therapeutische, sondern auch die diagnostischen Entscheidungen individuell getroffen werden müssen. Das spart nicht zuletzt auch Aufwand und Kosten. Kritisch gewertet werden müssen allerdings die Selektionsparameter für Hoch- und Niedrigrisikopatienten. Eine Alkohol- und Nikotinanamnese findet sich bei fast allen Patienten und eine HPV-Genotypisierung liegt nur in den seltensten Fällen vor.

Diffusions-MRT zur Frühkontrolle bei Radio-Chemo-Therapie

Ziel einer US-amerikanischen Studie war es, anhand des Diffusionskoeffizienten (ADC) eine frühzeitige Vorhersage zum Ansprechen einer RCT bei Kopf-Hals-Tumorpatienten zu treffen (86). Während und nach Beendigung der RCT wurden bei 40 Patienten MRTs mit diffusionsgewichteten Seqenzen durchgeführt. Zusätzlich wurden gesunde Probanden untersucht. Der prätherapeutische ADC-Wert war bei den Patienten mit vollständigem Ansprechen niedriger als bei denen mit reduziertem Ansprechen. Während der Therapie stieg der ADC-Wert bei den Patienten mit vollständigem Ansprechen stark an und blieb hoch bis zum Ende der Behandlung. Die Veränderung des prätherapeutischen ADC zum ADC nach einer Woche Therapie zeigte die höchste Sensitivität mit 86 % und eine Spezifität von 83 %, um zwischen Therapierespondern und -nichtrespondern zu unterscheiden. Die Autoren sehen die Diffusionsbildgebung als einen starken prognostischen Biomarker zur frühzeitigen Bestimmung des Behandlungserfolges an.

Kommentar: Ein interessanter diagnostischer Ansatz. Der Vorteil der Diffusions-MRT gegenüber der PET oder der dynamischen Kontrastmittel-MRT ist, dass kein Isotop oder Kontrastmittel injiziert werden muss. Die Durchführungsdauer liegt deutlich unter der der PET oder Kontrastmittel-MRT. Weitere klinische Studien sind notwendig, um die Methode zu etablieren.

Diagnostik von Rezidiven und Fernmetastasen mit der PET/CT

Die posttherapeutische Nachsorge stellt hohe Anforderungen an die Diagnostik. Oft sind die anatomischen Grenzen durch Operation und Bestrahlung verändert, was die klinische Untersuchung oder die Auswertung von CT und MRT erschwert. Die meisten Rezidive treten innerhalb der ersten 2 Jahre auf. Patienten mit Rezidivtumoren haben auch ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung von Fernmetastasen, was die Überlebensrate rapide einschränkt. Wichtig ist jeweils die frühzeitige Erkennung.

Das Ziel der Studie von Abgral *et al.* war es, in einem prospektiven Ansatz mögliche Vorteile der PET/CT bei der Suche nach subklinischen regionalen und fernen Metastasen herauszustellen (**87**). 91 Patienten, bei denen innerhalb von 12 Monaten durch klinische Untersuchung kein Rezidiv gefunden werden konnte, erhielten ein ^{18}FDG-Ganzkörper-PET/CT. In 39 Fällen konnte ein positives Resultat im PET/CT festgestellt werden, davon waren 9 falsch positiv. Die Kontrolle erfolgte histopathologisch. Die Sensitivität und Spezifität betrug 100 % und 85 %. In 15 von 30 positiven Fällen änderte sich das therapeutische Vorgehen drastisch. Alle Patienten mit negativem PET/CT-Befund blieben rezidivfrei, zumindest während der ersten 3 Monate. Eine längere Beobachtung wurde nicht beschrieben.

Auch die Studie von Pantvaidya *et al.* konnte eine Überlegenheit der PET/CT gegenüber konventioneller radiologischer Nachsorgemethoden feststellen (88). In 38 % musste der Therapieplan durch das PET/CT-Resultat geändert werden. In 11 % der Fälle wurde auf Grund des PET/CT-Ergebnisses auf eine Panendoskopie verzichtet.

Gourin *et al.* untersuchten in einer retrospektiven Studie, inwieweit die PET/CT Fernmetastasen detektieren kann (89). 64 Patienten mit fortgeschrittenem Tumorstadium erhielten ca. 5 Monate nach der Primärtherapie ein PET/CT. Bei allen Patienten wurden zusätzlich ein Röntgen-Thorax und ein

Leberfunktionstest durchgeführt. In 23 % konnten nur im PET/CT Fernmetastasen gefunden werden, die meisten davon in der Lunge.

Kommentar: Die PET/CT hat das Potential, Rezidive und Fernmetastasen wesentlich besser zu detektieren als herkömmliche Methoden. Sinnvoll erscheint ihr Einsatz allerdings nur in der Nachsorge fortgeschrittener Tumoren. Sowohl Abgral *et al.* als auch Gourin *et al.* gingen nur von einer rein körperlichen Nachsorgeuntersuchung aus. Die Möglichkeit der Sonographie als fester Bestandteil des Nachsorgeplans wurde außer Acht gelassen. Bei geschulter Anwendung lassen sich auch im Ultraschall Lokalrezidive erkennen, die in der klinischen Untersuchung nicht festgestellt werden können.

5.8 Schilddrüse

5.8.1 Ultraschall der Schilddrüse

Für die bildgebende Diagnostik der Schilddrüse eignet sich der Ultraschall sehr gut als Screening-Verfahren, da das Organ aufgrund seiner anatomischen Lokalisation gut zugänglich ist und mit hochfrequenten Schallköpfen problemlos komplett untersucht werden kann. Da Raumforderungen im Bereich des Parenchyms oder Schilddrüsen-Knoten ein sehr häufiger Befund sind (Prävalenz in der Bevölkerung bis zu 50 %!), stellt sich die Frage, wie hier eine weitere Differenzierung vorgenommen werden kann, um unauffällige von suspekten Läsionen zu unterscheiden. Hierzu können sonomorphologische Charakteristika ebenso beitragen wie der Einsatz technischer Neuerungen, z. B. der Elastographie. Ggf. muss die Diagnostik um eine weitere Bildgebung ergänzt werden.

Zur Sonographie der Schilddrüse haben Desser und Kamaya im letzten Jahr einen umfassenden Übersichtsartikel zusammengestellt (**90**). Sie weisen darauf hin, dass bei der hohen Prävalenz von Schilddrüsenknoten die Notwendigkeit besteht, diejenigen Läsionen zu erkennen, die eine weitere Abklärung erfordern. Sie beschreiben die verschiedenen benignen und malignen Erkrankungen der Schilddrüse mit den dazu gehörenden sonographischen Befunden, wobei sich zeigt, dass v. a. die Malignome kaum charakteristische Merkmale aufweisen und sonographisch nicht differenziert werden können. Die Autoren gehen sehr detailliert auf die einzelnen sonomorphologischen Kriterien von Schilddrüsenknoten ein, d. h. Form, Größe, Kontur, Echogenität, Kalzifikationen, Vaskularisation, und erläutern die Bedeutung verschiedener Befunde. Anmerkungen zu neueren Entwicklungen wie THI, Compound Imaging und Elastographie runden diese informative Übersicht ab.

Elastographie

Ein relativ neues sonographisches Verfahren ist die Elastographie, mit der eine Beurteilung der Gewebefestigkeit möglich ist, um Abschätzungen bezüglich der Dignität einer Läsion abzuleiten.

Eine chinesische Arbeitsgruppe berichtet über eine prospektive Studie mit 90 Patienten bzw. 145 Schilddrüsenknoten, bei denen im Rahmen einer Ultraschalluntersuchung zusätzlich eine Elastographie durchgeführt wurde (91). Die Gewebefestigkeit wurde in sechs Grade eingeteilt, wobei Grad 1-3

einer benignen und Grad 4-6 einer malignen Läsion zugeordnet wurden. Mit dieser Unterscheidung erreichte die Studie eine Sensitivität von 80 % und eine Spezifität von 90 %, unabhängig von der Größe der Knoten.

Kommentar: Die Elastographie ist ein noch relativ neues Verfahren, das bereits in anderen Anwendungsgebieten vielversprechende Ergebnisse zur Differenzierung benigner und maligner Raumforderungen zeigte (z. B. Mamma). Auch im Kopf-Hals-Bereich sind Weiterentwicklungen zu erwarten.

5.8.2 CT und MRT der Schilddrüse

Kabala hat in einem Review die Indikationen für CT und MRT bei Erkrankungen sowohl der Schilddrüse als auch der Nebenschilddrüsen zusammengestellt (92). Es wird deutlich, dass bei gutartigen Erkrankungen CT und MRT nur in Ausnahmefällen zum Einsatz kommen sollten, z. B. wenn eine große Raumforderung durch den Ultraschall nicht komplett beurteilt werden kann oder auch in seltenen Fällen bei unklaren endokrinologischen Befunden (z. B. persistierende Hypercalcämie). Bei Malignomen erfolgt die präoperative Diagnostik des Primärtumors überwiegend durch Ultraschall und ggf. FNAC, CT und MRT spielen jedoch im Staging eine wichtige Rolle. Außerdem können in der CT Knorpel- und Knocheninfiltrationen und in der MRT Weichteilbeteiligungen beurteilt werden. In der Nachsorge kommen CT und MRT zum Einsatz, wenn ein Rezidivverdacht besteht und weder Ultraschall noch Szintigraphie einen positiven Befund darstellen können. Hier gewinnen die Hybridverfahren PET/CT und SPECT/CT zunehmend an Bedeutung (vgl. unten).

In der MRT-Diagnostik werden zunehmend diffusionsgewichtete Sequenzen durchgeführt, um über die Darstellung der Brownschen Molekularbewegung zusätzliche Informationen über das Gewebe zu erhalten. Auch im Bereich der Schilddrüse gibt es hierzu einige Ansätze.

Eine türkische Arbeitsgruppe hat in einer prospektiven Studie 93 Schilddrüsenknoten mit diffusionsgewichteter MRT untersucht und die ADC-Werte bestimmt (93). Nach Abgleich mit dem Ergebnis der FNAC als Referenz bezüglich der Dignität zeigte sich ein signifikant niedrigerer ADC-Wert für Malignome im Vergleich zu benignen Knoten.

Kommentar: Ein nichtinvasives Verfahren zur Bestimmung der Dignität einer Raumforderung wäre insbesondere auch bei Schilddrüsenknoten (hohe Prävalenz!) wünschenswert. Sicherlich sind die neuen Ansätze mit Diffusions-MRT und Elastographie-US noch nicht in der Lage, die histologische Untersuchung zu ersetzen. Die weitere Entwicklung bleibt abzuwarten.

5.8.3 Bildgebung bei Schilddrüsen-Karzinomen

Wie bei anderen Malignomen im Kopf-Hals-Bereich hat auch bei Schilddrüsen-Karzinomen die Bildgebung eine zentrale Rolle sowohl in der prätherapeutischen Diagnostik, in der Ausdehnungsbestimmung und im Staging als auch in der Therapieplanung und Kontrolle des Therapieerfolges sowie in der anschließenden Nachsorge und zur Diagnostik eventueller Rezidive. In diesen verschiedenen Bereichen kommen die zur Verfügung stehenden Modalitäten der Bildgebung mit unterschiedlicher Gewichtung zum Einsatz.

Eine Übersicht über die Indikationen der verschiedenen bildgebenden Verfahren wurde 2007 von der US-amerikanischen Arbeitsgruppe von Wang

et al. zusammengestellt (**94**). Sie betonen die Bedeutung des (in den USA wenig verbreiteten) Ultraschalls zur Primärdiagnostik thyreoidaler Raumforderungen und weisen auf die Möglichkeit der Kombination mit der FNAC hin. CT und MRT werden für die Primärdiagnostik nur dann empfohlen, wenn es um spezielle Fragestellungen geht, z. B. Infiltration von Nachbarstrukturen wie Trachea und Ösophagus. Bei der CT ist immer zu berücksichtigen, dass die Gabe von iodhaltigem Kontrastmittel die Möglichkeiten einer Radioiodtherapie stark einschränken kann.

Die Szintigraphie kann im Rahmen der Primärdiagnostik zeigen, ob es sich um „kalte" oder „heiße" Knoten handelt, wobei die Fähigkeit zur Iod-Aufnahme auch von der Differenzierung des Tumors abhängt und somit nicht alle Malignome „kalt" und nicht alle „heißen" Knoten benigne sind. Auch die FDG-PET kann zur Diagnostik des Primärtumors eingesetzt werden, z. B. bei nicht eindeutigem Ergebnis der FNAC. Allerdings ist die Domäne der PET die Diagnostik von Fernmetastasen und Rezidiven.

Für die Diagnostik von Lymphknoten-Metastasen steht wiederum die Sonographie im Vordergrund, ergänzt um die CT (cave KM!), die bestimmte Areale besser abbilden kann.

In der Nachsorge stellt ebenfalls der Ultraschall das sensitivste Verfahren da, um lokoregionale Rezidive zu diagnostizieren. Ergänzt wird dies durch die regelmäßige Bestimmung des Thyreoglobulin-Spiegels (Tg) im Serum bei papillären und follikulären Karzinomen (medulläres Karzinom: Calcitonin als Tumormarker). Bei ansteigendem Tg sollte der Rezidivverdacht zunächst sonographisch abgeklärt werden. Ergibt sich hier kein Befund, ist die Szintigraphie der nächste diagnostische Schritt. Bei negativem Szintigramm ist eine PET/CT indiziert, da sie mit hoher Sensitivität und Spezifität sowohl lokoregionäre Rezidive als auch Fernmetastasen diagnostizieren kann. Es ist anzumerken, dass die Aufnahme von FDG in Tumorzellen invers mit der Aufnahme von Iod korreliert: bei Dedifferenzierung nimmt die Fähigkeit zur Iodaufnahme ab, FDG wird hingegen stärker akkumuliert.

Kommentar: Eine ausführliche Übersicht über die verschiedenen Modalitäten der Bildgebung, die für die Diagnostik von Schilddrüsen-Karzinomen zur Verfügung stehen. Die Arbeit ist zwar von 2007, aber immer noch „up to date".

Aygun stellt in einer Übersichtsarbeit zur Bildgebung beim rezidivierenden Schilddrüsen-Karzinom die oben geschilderten Strategien in vergleichbarer Weise dar (95). Hingewiesen wird darauf, dass die Sensitivität der Tg-Spiegel-Bestimmung durch Stimulation mit rekombinantem TSH erhöht werden kann und dass dieses Verfahren zusammen mit dem Ultraschall die Screening-Methode der Wahl darstellt. Die Ganzkörper-Szintigraphie habe hingegen in den letzten Jahren an Bedeutung verloren. Zum Einsatz kommt sie noch bei steigendem Tg-Spiegel und negativem Ultraschall, nicht mehr jedoch in der Routine-Nachsorge.

Die PET/CT ist v. a. geeignet, Iod-negative Rezidive zu diagnostizieren, die der Szintgraphie entgehen. Auch die PET/CT profitiert von einer Stimulation mit rTSH, da dieses die Glucoseaufnahme der Thyreozyten bzw. von ihnen abgeleiteten Tumorzellen steigert. Zu beachten ist, dass es im Kopf-Hals-Bereich einige Strukturen mit physiologischem FDG-Uptake gibt, z. B. die Tonsillen, die Nasenmuscheln, die Speicheldrüsen, die Stimmlippen und die Halsmuskulatur (deshalb ist eine entspannte Lage des Patienten wichtig,

Muskelkontraktion steigert den Glucosemetabolismus und damit den FDG-Uptake!).

SPECT/CT und PET/CT

Wong *et al.* haben eine Übersichtsarbeit zusammengestellt, die sich speziell mit dem Einsatz der Hybrid-Verfahren SPECT/CT und PET/CT befasst (**96**). Durch die SPECT/CT kann posttherapeutisch verbliebenes Gewebe mit Iod-Aufnahme exakt lokalisiert werden. So ist es z. B. möglich, verbliebenes oder ektopes Schilddrüsengewebe von einem residualen Tumor oder einer Lymphknoten-Metastase zu unterscheiden. Darüber hinaus kann in anderen Körperregionen durch die exakte anatomische Zuordnung eine physiologische von einer suspekten Iod-Aufnahme unterschieden werden, was in der Szintigraphie oft nicht möglich ist.

Die Einsatzmöglichkeiten der PET/CT wurden bereits diskutiert. Wong *et al.* heben noch einmal hervor, dass eine Abnahme der Differenzierung zu verminderter Iod-, aber gesteigerter FDG-Aufnahme führt und daher die Szintigraphie einen negativen, die PET/CT aber einen positiven Befund ergibt. Analog ist es aber auch möglich, dass gut differenzierte Rezidive in der PET/CT nicht diagnostiziert werden können. Es wird darauf hingewiesen, dass auch braunes Fettgewebe (z. B. zervikal, mediastinal, paravertebral lokalisiert) FDG aufnimmt, was differentialdiagnostische Schwierigkeiten bereiten kann. Dieser Effekt ist in warmer Umgebung übrigens geringer (aufgrund geringerer metabolischer Aktivität des Fettgewebes).

Kommentar: Die Arbeit von Wong *et al.* gibt einen ausgezeichneten und aktuellen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten der SPECT/CT und PET/CT. Außerdem bietet sie anschauliches Bildmaterial in guter Qualität.

Medulläres Schilddrüsen-Karzinom

Arbeiten zur Bildgebung bei Schilddrüsen-Karzinomen konzentrieren sich häufig auf die sogenannten „differenzierten" Karzinome, d. h. das papilläre und folikuläre Karzinom. Die meisten Aussagen lassen sich zwar auch auf das medulläre Schilddrüsen-Karzinom (MTC) übertragen, jedoch gibt es einige Besonderheiten zu beachten.

Rufini *et al.* haben daher eine Arbeit speziell zum Einsatz der PET beim MTC veröffentlicht, die einen guten Überblick über die verfügbare Literatur bietet (97). Zu berücksichtigen ist bei MTC v. a., dass die Zellen keine Iodtransporter exprimieren und daher die Szintigraphie keine sinnvolle Bildgebung darstellt. Ultraschall, CT und MRT können hingegen mit den gleichen Fragestellungen eingesetzt werden wie oben beschrieben.

Die PET und PET/CT hat auch beim MTC einen hohen Stellenwert in der Diagnostik von lokoregionären Rezidiven und Fernmetastasen. Als Tumormarker dient hier das Calcitonin, und erhöhte Calcitonin-Werte im Serum sollten sonographisch sowie im zweiten Schritt mittels PET/CT abgeklärt werden. Die Sensitivität erreicht hier bis zu 95 %, ist aber bei niedrigen Calcitonin-Werten geringer. Es gibt Hinweise, dass die CT in der Diagnostik von Lebermetastasen und die MRT bei Knochen- und Knochenmarksbefall eine höhere Sensitivität erreichen kann.

Beim MTC kann alternativ zum ^{18}F-FDG-PET auch ein ^{18}F-DOPA-PET durchgeführt werden, da es sich um einen neuroendokrinen Tumor handelt.

Hier gibt es in de Literatur Hinweise für eine höhere Sensitivität auch bei niedrigen Calcitonin-Spiegeln. Andere Radiopharmaka sind noch in der Entwicklung, könnten die Diagnostik aber weiter verbessern, u. a. ^{18}F-Fluoro-Dopamin oder ^{68}Ga-Somatostatinanaloga.

Kommentar: Beim medullären Schilddrüsen-Karzinom spielt die Szintigraphie in der Diagnostik ebenso wenig eine Rolle wie die Radioiodapplikation in der Therapie. Als Alternative zum FDG-PET kann das F-DOPA-PET eingesetzt werden. Die primäre Diagnostik in der Nachsorge besteht jedoch aus Calcitonin-Messung und Ultraschall.

5.9 Bildgebung beim Malignen Melanom

State of the Art (98)

Die Zahl der an einem Malignen Melanom (MM) erkrankten Menschen nimmt weltweit zu, ebenso die Zahl der Patienten, die diesem Tumorleiden letztendlich erliegen. Die einzige Möglichkeit, dieser Entwicklung entgegenzusteuern, ist eine frühzeitige Diagnostik des Primärtumors und ein adäquates Tumorstaging.
In der Dermatologie haben sich neben der körperlichen Untersuchung folgende Methoden zur Beurteilung des Primärtumors etabliert:

- Ganzkörperfotografie: Besonders im zeitlichen Verlauf hat sich herauskristallisiert, dass insbesondere Veränderungen der Größe, Gestalt und Farbe mit der Entwicklung eines MM korrelieren. Neue 3D-Aufnahmetechniken wie z. B. das VECTRA®-System (Canfield Imaging Systems), welches auch im Bereich der plastischen Chirurgie eingesetzt wird, erlauben bei einer Auflösung von 1,8 mm und einer Aufnahmezeit von wenigen Sekunden hier vielversprechende Ansätze für die Zukunft.

- Dermoskopie: Die Dermoskopie pigmentierter Läsionen wurde erstmals zu Beginn der 70er Jahre durchgeführt. Insgesamt wurde hierdurch die Treffsicherheit der Diagnostik des MM um 50 % verbessert. Bei kleinen unspezifischen Läsionen unter 6 mm ist diese Technik allerdings immer noch verbesserungswürdig. So liegt je nach Auswertungsalgorithmus die Sensitivität und Spezifität der Methode bei 83-93 % bzw. 68-83 % (siehe auch www.dermoscopy-ids.org bzw. uda.dermoscopy-ids.org). In Neuseeland resultierte aus der Knappheit erfahrener Dermatologen die sogenannte Tele-Dermoskopie: Eine Krankenschwester dokumentiert die Hautveränderungen in einem speziellen Programm (MoleMap®). Die Bilddaten werden dann von Spezialisten beurteilt, die zur Beobachtung oder Biopsie raten. Inzwischen wurden 50.000 Patienten mit ca. 1 Million Veränderungen aufgenommen. Bei 1.850 Läsionen wurde zur Biopsie geraten. Die Inzidenz des MM in diesem Register ist 25mal höher als im Zentralregister Neuseelands. Die mittlere Ausdehnung nach Breslow beträgt 0,75 mm im Vergleich zu 1,51 mm.

- Computerassistierte Bildauswertung: Drei bereits verfügbare System wurden ausgewertet. Die automatisierten Systeme tendieren derzeit

noch dazu, ein MM zu häufig zu diagnostizieren. Hier werden aber weitere Fortschritte erwartet.

- Multispektrale Bildgebung: Hier werden Aufnahmen bei verschiedenen Wellenlängen zwischen 400 nm und 1000 nm dokumentiert. Man erhält Informationen über die Verteilung des Kollagens, den Melaningehalt und die Gefäßverteilung. So wird z. B. mit einem auf Infrarotstrahlung basierenden kommerziell erhältlichen Gerät (MelaFind®, Electro-Optical Sciene Inc., Irvington NY) eine Sensitivität von 100 % und eine Spezifität von 85 % erreicht.

- Konfokale Lasermikroskopie: Hier werden Auflösungen im Bereich von 1 µm und Eindringtiefen von bis zu 300 µm erreicht. Die Methode kann im Fluoreszenz- oder Reflexionsmodus verwendet werden. Sowohl die präoperative als auch die intraoperative Anwendung wird beschrieben. Erste Systeme stehen bereits kommerziell zur Verfügung (z. B. 5-Live, Carl-Zeiss; Live Scan, Nikon). Sensitivitäten und Spezifitäten der Methode betragen je nach Studie 92-98 % und 52-99 %.

- Hochfrequenzultraschall (20-100 Mhz): Eine Unterscheidung von Nävus und MM ist nicht sicher möglich. Allerdings kann die Eindringtiefe und Ausdehnung (Volumen) der Läsion sehr gut beurteilt werden. Auflösung im µm-Bereich.

- Optische Kohärenz-Tomographie (OTC): Mit Hilfe der sogenannten Breitbandtechnik lassen sich Eindringtiefen von 500-1000 µm erreichen bei einer Auflösung von 15 µm. Die Methode befindet sich derzeit noch in der Erprobung.

- Molekulare Bildgebung: Die Firma DermTech (La Jolly, USA) hat einen Test entwickelt, der die Zellen des Patienten, gewonnen auf einem Klebstreifen, auswertet (Epidermal Genetic Information Retrieval System). Spezifische Mutationen und Genpolymorphismen können ein MM vorhersagen (100 % Sensitivität, 91 % Spezifität).

Dancey *et al.* untersuchten in einem hervorragenden Review die Wertigkeit von Ultraschall, CT, MRT, Sentinel-Lymphknoten-Biopsie (SLNB) und PET sowie PET/CT bei MM, insbesondere im Rahmen des Tumorstagings, der OP-Planung und des Follow-up (**99**).
Es gibt wenig Evidenz für ein Ganzkörper-Staging bei MM im Frühstadium bei asymptomatischen Patienten. Um eine regionale Tumorausbreitung zu sichern, ist die SLNB die sicherste Methode. Ultraschall und FNA können hier bei der Auswahl der Patienten zur SLNB beitragen. Patienten im makroskopischen Stadium III sollten zusätzlich auch eine CT-Untersuchung des Lymphabfluss-gebietes, des Thorax und des Abdomens erhalten. Im mikroskopischen Stadium III und bei asymptomatischen Patienten ist diese Bildgebung nicht erforderlich. Die Darstellung von Hirnmetastasen gelingt am besten in der MRT und ist bei entsprechender Symptomatik indiziert.
Bei der OP-Planung ist eine CT in der Regel ausreichend. Die Rolle des PET bzw. PET/CT ist hier wie auch im Follow-Up noch nicht definitiv geklärt. Für das Follow-Up wird auch mit Rücksicht auf die Kosten die CT empfohlen.

Krug *et al.* untersuchten die Bedeutung der PET im Rahmen des Stagings beim MM (100). Von insgesamt 547 Studien wurden nach entsprechender Durchsicht 28 Reviews und Studien in die Analyse aufgenommen.

Zusammenfassend zeigte sich im Frühstadium der Erkrankung nur ein mäßiger Nutzen des PET. Das PET/CT ist präziser als die PET alleine. Im Stadium III und IV ist das PET/CT eine sinnvolle Methode zur Diagnostik von tiefen Weichgewebs- und abdominellen Metastasen. In 8 Studien wurde auch auf die Auswirkung der PET bzw. PET/CT auf die Therapieentscheidung eingegangen. Bei einem Drittel der Patienten wurde das therapeutische Management verändert. Dennoch fordern die Autoren eine groß angelegte prospektive Studie, um insbesondere die Rolle des PET-CT auch hinsichtlich der entstehenden Kosten zu evaluieren.

Kommentar: Ein interessanter Blick Richtung Dermatologie. Bestechend ist vor allem die Entwicklung Richtung „molekularer Bildgebung" beim Malignen Melanom. Ähnlich wie bei der Früherkennung von Plattenepithelkarzinomen werden verschiedene neue Sreeningmethoden untersucht, die vor allem den Praktiker ohne den Support einer Klinik unterstützen sollen. Man hat den Eindruck, dass die Vernetzung hier schon weiter fortgeschritten ist als bei den Kopf-Hals-Onkologen.

Wichtig ist die Aussage, dass eine PET oder besser PET/CT erst im fortgeschrittenen Stadium inidziert ist. Auch hier werden weitere Kosten-Nutzen-Analysen folgen.

5.10 Digitale Volumentomographie

Die Digitale Volumentomographie (DVT) oder im englischen Sprachgebrauch Cone Beam Computed Tomography (CBCT) erfasst durch ein kegelförmiges Strahlenbündel ein zu untersuchendes Volumen in einem einzigen Umlauf. Bei herkömmlichen Tomographien erfolgt der Scan durch einen fächerförmigen Strahl in mehreren Umdrehungen um das zu erfassende Objekt. Die Größe des erfassten, meist zylinderförmigen Volumens wird durch das *Field of View* (FOV) charakterisiert und variiert zwischen 4x4 cm und 19x24 cm. Diese Größe ist z. B. ausreichend, um viele Fragestellungen im Kopf-Hals-Bereich auszuwerten. Ein Vorteil der oft kleinen und sogar fahrbaren Geräte ist die Verfügbarkeit vor Ort, ggf. sogar für die intraoperative Anwendung bei gleicher Auflösung bei sogar geringerer Strahlendosis.

Cacaci *et al.* geben einen sehr schönen Überblick über die technischen Ausführungen und Details bei insgesamt 11 DVT (**101**). Die Aufnahmezeit variiert je nach FOV zwischen 8,5 bis 40 Sekunden. Die Rekonstruktionsdauer beträgt von 1 bis maximal 8 Minuten.

Miracle und Mukherji stellen die klinischen Anwendungen in einem Übersichtsartikel zusammen (**102**). Neben der Bildgebung bei Zahnärzten und Kieferchirurgen (Implantologie, Frakturen, Cephalometrie für die Kieferorthopäden, Darstellungen des Kiefergelenkes, Zahnwurzeldarstellungen etc.) ist die Indikation auch für den HNO-Arzt gegeben: Für die Darstellung der Nasennebenhöhlen z. B. wurde bei guter Darstellungsqualität der knöchernen Strukturen eine Strahlendosis von 0,17 mSv verglichen mit 0,87 mSv für ein 64-Zeilen-CT ermittelt. Bei der chronischen Sinusitis ist ein DVT sicherlich eine adäquate Bildgebung (103). Auch intraoperativ kann das DVT in bestimmten Situationen hilfreich sein, genannt werden hier die Überprüfung von Stenteinlagen oder noch überschüssiger Knochen in schwierigen anatomischen Bereichen. Wichtig ist darauf hinzuweisen, dass die Methode zur

Weichteildiagnostik wie auch zur Abklärung von Komplikationen nach der NNH-Chirurgie (Duradefekte, Blutungen, Meningitis) nicht geeignet ist.

Die laterale Schädelbasis und hier insbesondere die prä-, intra- und postoperative Darstellung von Mittel- und Innenohrstrukturen ist eine weitere und war auch die erste Indikation für das DVT. Die Reduktion der Strahlendosis ist vor allem durch die kleinere FOV gegeben (bis 1:60, je nach Technik und Volumen). Würde man im konventionellen CT ebenfalls ein kleineres Volumen scannen, so sind beide Strahlendosen gut vergleichbar. Indikationen für das CBCT bzw. DVT sind u.a. Evaluation der Lage von Implantaten im Innen- und Mittelohr (auch Cochlea-Implantate) (104) sowie Darstellung von Defekten der Gehörknöchelchen bei Schallleitungsstörungen. Dennoch besteht ein weiterer Forschungsbedarf zur Überprüfung der Verlässlichkeit der Darstellung der knöchernen Anatomie des Felsenbeines. Die Vielzahl der Hersteller und der Scan–Parameter ist derzeit keineswegs normiert. Auch beim Felsenbein sind die diagnostischen Aussagen auf den Knochen beschränkt (105, 106).
Insbesondere die mobilen DVTs (z. B. der XCat® von Xoran-Technologies) erlauben z. B. die Darstellung der Schädelbasis mit relativ niedriger Dosis (0,1-0,35 mSv) und werden daher für den intraoperativen Einsatz evaluiert.

Neuerdings wird die DVT auch in ersten Studien erfolgreich in der Diagnostik der Atemwege bei obstruktiven Atemwegerkrankungen eingesetzt (107, 108, 109). Hierbei wird ein besonderes Augenmerk auf die Vermessungen der Atemwege gelegt, wie sie auch in der CT und MRT beschrieben sind.

In den letzten Jahren hat sich die DVT besonders in den USA in vielen Praxen etabliert. Sie kann mit entsprechender Indikation zum Wohl des Patienten eingesetzt werden. Andererseits wird aber auch ein zu leichtfertiger Umgang mit Röntgenstrahlen und ggf. eine zu häufige Indikationsstellung befürchtet. Hierdurch wird zum einen die kumulierte Strahlendosis für den Patienten deutlich erhöht und zum anderen auch die Kosten im Gesundheitssystem in die Höhe getrieben.

Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist die Betreibergenehmigung. Während ein CT in der Regel nur von Radiologen betrieben werden darf, kann ein DVT auch vom Zahnarzt und HNO Arzt mit entsprechender Sach- und Fachkunde in Betrieb genommen werden.
Während Zahnärzte die nötigen Qualifikationen im Rahmen ihrer Ausbildung zur Betreibung eines DVT erwerben können, besitzen HNO-Ärzte gemäß der aktuellen Weiterbildung in der Regel keine adäquate Sach- und Fachkunde. Der Erwerb der Qualifikation soll in Zukunft im Rahmen von Kursen ermöglicht werden.

Kommentar: Die DVT befindet sich weiter auf dem Vormarsch. Es gibt hierfür sinnvolle Indikationen. Bestechend sind Informationen über die im Vergleich zur CT geringere Strahlendosis. Vergleichsstudien am Modell sind bisher allerdings noch nicht durchgeführt worden. Würde im konventionellen Low-dose-CT ein kleineres Feld gescannt werden, so wird einschränkend bereits bemerkt, dass die Strahlendosen nicht ganz so stark differierten. Dennoch unterliegt auch die DVT den Verordnungen zum Strahlenschutz und sollte daher streng indiziert sein. Interessant ist neben den anderen Indikationen vor allem die intraoperative Anwendung mit kleinen mobilen Geräten.

5.11 Navigation und Robotik

Wie die meisten technischen Errungenschaften der Neuzeit schienen auch die Entwicklungen im Bereich der Navigation und Robotik immer aufwendiger und komplexer zu werden. Kostenaufwand und die Integrierbarkeit in das Operationsfeld sowie die Anwenderfreundlichkeit wurden in diesem Trend oftmals nur zweitrangig berücksichtigt.
Diese Entwicklung scheint im Forschungsbereich der Navigation und Robotik nun eine kleine Trendwende zu erfahren. Viele Arbeitsgruppen beschäftigen sich vermehrt damit, wie sich die technischen Hilfen leichter in das Arbeitsfeld des Chirurgen integrieren lassen oder wie sich beispielsweise die Strahlendosis für eine Planungs-CT für die Navigation bei Nasennebenhöhleneingriffen reduzieren lässt.

Auf der anderen Seite findet man im Zeitraum des letzten Jahres weiterhin zahlreiche Publikationen zur intraoperativen Bildgebung oder der robotergestützten Tumorchirurgie, bei der der Kostenfaktor keine Rolle zu spielen scheint.

Allerdings scheint auch das Vertrauen in die Technologie der Navigation und Robotik weiter zu wachsen. Dies zeigen Fallstudien über operative Zugangswege im Bereich der Rhinobasischirurgie, die ohne die Hilfe eines Navigationssystems auf Grund mangelnder Übersicht nicht möglich wären.

5.11.1 Navigation

In den letzten Jahren wurde an dieser Stelle berichtet, wie weit verbreitet Navigationssysteme im Bereich der HNO-Heilkunde inzwischen sind. Bisher lagen hier jedoch lediglich Zahlen aus dem Ausland, hauptsächlich aus den USA, vor. Gero Strauss berichtet nun in einer Veröffentlichung aus dem Jahr 2009 darüber, dass auch in Deutschland 30 % der HNO-Einrichtungen Zugang zu einem Navigationssystem haben (110).

Aber nicht nur die Akzeptanz, sondern auch das Vertrauen in die Navigationssysteme scheint zu steigen. Dies wird in einer interdisziplinären Studie der Medizinischen Hochschule Hannover deutlich (111). Die hier vorgestellte Arbeitsgruppe berichtet über 13 Fälle von ausgedehnten Rhinobasistumoren, welche über eine laterale Rhinotomie in Kombination mit einer subfrontalen Craniotomie unter Verwendung eines Navigationssystems vollständig reseziert werden konnten. Die interdisziplinäre Arbeitsgruppe aus HNO-Ärzten und Neurochirurgen geht davon aus, dass man ohne die Verwendung eines Navigationssystems auf Grund mangelnder Übersicht die Patienten über den Zugang einer konventionellen frontalen Craniotomie mit einer entsprechend höheren Morbiditätsrate hätte operieren müssen. In allen berichteten Fällen konnte die mangelnde Übersicht durch die Verwendung der Computernavigation ausgeglichen werden.

Kommentar: Auch in Deutschland sind im Bereich der HNO-Chirurgie Navigationssysteme weit verbreitet und stehen bereits 30 % der HNO-Einrichtungen zur Verfügung. Dank steigender Akzeptanz und wachsendem Vertrauen in die Technologie erlaubt die Computernavigation chirurgische Vorstöße in operative Grenzgebiete. Dennoch muss klar sein, dass Navigationssysteme nicht das operative Know-How und insbesondere die Kenntnis der anatomischen Besonderheiten ersetzen können.

Bildgebung im Bereich der Computernavigation

Einen interessanten Studienansatz verfolgt eine Arbeitsgruppe aus Bern (**112**). In einem von der Schweizer Forschungsgesellschaft unterstützen Projekt wurde hier untersucht, inwieweit die Strahlendosis einer Planungs-CT für eine Computernavigation reduziert werden kann. Die Forschungsgruppe um Nauer und Caversaccio kommt zu dem Schluss, dass sich die Gesamtdosis um bis zu 30 % im Vergleich zu einem herkömmlichen low-dose NNH-CT reduzieren lässt, ohne dass es zu einer wesentlichen Reduktion der Genauigkeit kommt.

Im Gegensatz hierzu stehen die Ergebnisse einer Studie aus Atlanta (**113**). Hier wurde untersucht, unter welchen Voraussetzungen wenig erfahrene HNO-Chirurgen verschiedene anatomische Landmarken im Bereich der Rhinobasis und der Nasennebenhöhlen auffinden können. Verglichen wurde die alleinige Endoskopie mit der Endoskopie unter Kenntnis präoperativ erhobener CT-Daten, der Endoskopie mit Kenntnis einer präoperativen CT und Verwendung eines Navigationssystems und letztlich die Endoskopie unter Zuhilfenahme einer intraoperativen CT unter Verwendung eines Navigationssystems. Es ist wenig überraschend, dass die Operateure, denen die intraoperative Bildgebung zusammen mit einem Navigationssystem zur Verfügung stand, bei dieser Untersuchung am besten abgeschnitten haben. Überraschend allerdings ist die Schlussfolgerung der Autoren, die der Meinung sind, dass in Zukunft auch erfahrene Chirurgen bei schwierigen Operationen vermehrt auf die intraoperative Bildgebung zurückgreifen sollten.

Kommentar: Sehr zu begrüßen ist die Intention von Arbeitsgruppen, sich damit auseinanderzusetzen, wie in Zukunft im Bereich der Computernavigation die Strahlenbelastung von Patienten reduziert werden kann. Im Gegensatz dazu müssen Forderungen nach noch aufwendigeren und kostenintensiveren OP-Ausstattungen in der heutigen Zeit sicherlich eher kritisch betrachtet werden.

5.11.2 Robotik und Mechatronik

Auch im vergangenen Jahr gab es keine Publikationen, die vom Einsatz eines echten autonomen Robotersystems am Patienten berichten konnten. Es ist darüber hinaus auch nicht anzunehmen, dass in Kürze im HNO-Bereich ein vollautomatisches Robotersystem eingesetzt werden kann.

Dagegen gibt es seit einigen Jahren Berichte über den Einsatz des bekanntesten Operationsroboters im Fachbereich der HNO-Heilkunde, dem daVinci® (114, 115, 116). Dies ist jedoch kein eigenständig arbeitendes Robotersystem, sondern lediglich ein chirurgisches Assistenzsystem im Sinne eines Mikromanipulators. Ein Mikromanipulator folgt dem Master-Slave-Prinzip; dies bedeutet, dass alle Aktionen des Robotersystems (Slave) vom Chirurgen (Master) ausgelöst und gesteuert werden.

Neu ist, dass der daVinci® unter Verwendung eines Navigationssystems zum Einsatz kommt. Dies berichten Desai *et al.* in einer Fallberichtsstudie vom November 2008 über die Resektion von insgesamt drei Oropharynx-Karzinomen über einen transoralen Zugang (117). In dieser als Pilotstudie bezeichneten Arbeit fassen die Autoren zusammen, dass die transorale Roboterresektion unter Verwendung eines Navigationssystems eine sichere und machbare Methode zur Resektion von pharyngealen und parapharyngealen Raumforderungen darstellt.

Auch in Deutschland wurde nun ein Mirkomanipulator für den Einsatz in der Ohrchirurgie, insbesondere der Stapeschirurgie, entwickelt. Ganz im Gegensatz zu dem bereits etablierten daVinci® handelt es sich bei dem Micromann® um ein sehr kompaktes und leicht in das Arbeitsfeld des Chirurgen integrierbares System. In einem kleinen Fallbericht berichteten im Jahr 2008 nun Maier *et al.* über die erste erfolgreiche Verwendung des Systems bei der Stapedotomie (**118**).

Kommentar: Der Einsatz eines etwa 2 Millionen Dollar teuren Mikromanipulators wie dem daVinci® zur Resektion von T2- Oropharynx-Karzinomen scheint in Deutschland unter den derzeitigen Aspekten des Gesundheitssystems sicher unmöglich. Allerdings muss neben dem Kostenaspekt und der mühsamen Integrierbarkeit des daVinci® in den chirurgischen Arbeitsplatz des HNO-Chirurgen der Sinn und Zweck des Einsatzes eines solchen Systems vehement in Frage gestellt werden, insbesondere in Fällen, die auch mit Methoden der konventionellen Kopf- und Halschirurgie sicher beherrscht werden können. Dagegen scheint der Mircoman® mit seinen sehr kompakten Maßen und der wirklich problemlosen Integrierbarkeit in das operative Setup eine innovative Entwicklung zu sein. Es ist vorstellbar, dass insbesondere im Bereich der Ohrchirurgie die Tremorfreiheit des Systems den Operateur tatsächlich sinnvoll unterstützen kann.

5.12 Literatur

1. Dirix, P, De Keyzer, F, Vandecaveye, V, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging to evaluate major salivary gland function before and after radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2008; 71(5):1365-1371.

2. Su, YX, Feng, ST, Liao, GQ, et al. CT virtual sialendoscopy versus conventional sialendoscopy in the visualization of salivary ductal lumen: an in vitro study. Laryngoscope 2009; 119(7):1339-1343.

3. **Koch, M, Iro, H, Zenk, J. Sialendoscopy-based diagnosis and classification of parotid duct stenoses. Laryngoscope 2009; 119(9):1696-1703.**

4. Milic, VD, Petrovic, RR, Boricic, IV, et al. Diagnostic value of salivary gland ultrasonographic scoring system in primary Sjogren's syndrome: a comparison with scintigraphy and biopsy. J Rheumatol 2009; 36(7):1495-1500.

5. Regier, M, Ries, T, Arndt, C, et al. Sjogren's syndrome of the parotid gland: value of diffusion-weighted echo-planar MRI for diagnosis at an early stage based on MR sialography grading in comparison with healthy volunteers. Rofo 2009; 181(3):242-248.

6. **Habermann, CR, Arndt, C, Graessner, J, et al. Diffusion-weighted echo-planar MR imaging of primary parotid gland tumors: is a prediction of different histologic subtypes possible? AJNR Am J Neuroradiol 2009; 30(3):591-596.**

7. Kakimoto, N, Gamoh, S, Tamaki, J, et al. CT and MR images of pleomorphic adenoma in major and minor salivary glands. Eur J Radiol 2009; 69(3):464-472.

8. Inohara, H, Akahani, S, Yamamoto, Y, et al. The role of fine-needle aspiration cytology and magnetic resonance imaging in the management of parotid mass lesions. Acta Otolaryngol 2008; 128(10):1152-1158.

9. Lee, TC, Aviv, RI, Chen, JM, et al. CT grading of otosclerosis. AJNR Am J Neuroradiol 2009; 30(7):1435-1439.

10. **Waldeck, S, Galanski, M, Schlegel, M, et al. Verifikation der Hammerkopffixation.Computertomographie als Diagnosestandard. Hno 2009; 57(5):519-521.**

11. Thiriat, S, Riehm, S, Kremer, S, et al. Apparent diffusion coefficient values of middle ear cholesteatoma differ from abscess and cholesteatoma admixed infection. AJNR Am J Neuroradiol 2009; 30(6):1123-1126.

12. Pandey, AK, Bapuraj, JR, Gupta, AK, et al. Is there a role for virtual otoscopy in the preoperative assessment of the ossicular chain in chronic suppurative otitis media? Comparison of HRCT and virtual otoscopy with surgical findings. Eur Radiol 2009; 19(6):1408-1416.

13. **Warren, FM, Riggs, S, Wiggins, RH, 3rd. Computed tomographic imaging of stapes implants. Otol Neurotol 2008; 29(5):586-592.**

14. Hahn, Y, Diaz, R, Hartman, J, et al. Assessing stapes piston position using computed tomography: a cadaveric study. Otol Neurotol 2009; 30(2):223-230.

15. **Bauknecht, HC, Jach, C, Krug, L, et al. Verhalten von Titan-Mittelohrimplantaten bei 1,5 und 3 Tesla Feldstärke in der Magnetresonanztomographie. Laryngorhinootologie 2009; 88(4):236-240.**

16. Zou, J, Poe, D, Bjelke, B, et al. Visualization of inner ear disorders with MRI in vivo: from animal models to human application. Acta Otolaryngol Suppl 2009(560):22-31.

17. **Naganawa, S, Satake, H, Iwano, S, et al. Communication between cochlear perilymph and cerebrospinal fluid through the cochlear modiolus visualized after intratympanic administration of Gd-DTPA. Radiat Med 2008; 26(10):597-602.**

18. Nakashima, T, Naganawa, S, Katayama, N, et al. Clinical significance of endolymphatic imaging after intratympanic gadolinium injection. Acta Otolaryngol Suppl 2009(560):9-14.

19. **Nakashima, T, Naganawa, S, Pyykko, I, et al. Grading of endolymphatic hydrops using magnetic resonance imaging. Acta Otolaryngol Suppl 2009(560):5-8.**

20. Tanaka, H, Tanigawa, T, Suzuki, M, et al. Effects of MRI contrast agents (Omniscan) on vestibular end organs. Acta Otolaryngol 2009:1-8.

21. McClay, JE, Booth, TN, Parry, DA, et al. Evaluation of pediatric sensorineural hearing loss with magnetic resonance imaging. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 2008; 134(9):945-952.

22. Chen, EY, Paladin, A, Phillips, G, et al. Semicircular canal dehiscence in the pediatric population. Int J Pediatr Otorhinolaryngol 2009; 73(2):321-327.

23. Isaacson, B, Booth, T, Kutz, JW, Jr., et al. Labyrinthitis ossificans: how accurate is MRI in predicting cochlear obstruction? Otolaryngol Head Neck Surg 2009; 140(5):692-696.

24. Coelho, DH, Waltzman, SB, Roland, JT, Jr. Implanting common cavity malformations using intraoperative fluoroscopy. Otol Neurotol 2008; 29(7):914-919.

Besonders wichtige Arbeiten sind im Text und im Literaturverzeichnis **fett** gedruckt.

25. **Madani, G, Connor, SE. Imaging in pulsatile tinnitus. Clin Radiol 2009; 64(3):319-328.**

26. **Pau, HW, Lankenau, E, Just, T, et al. Darstellung cochleärer Binnenstrukturen durch Optische Kohärenz-Tomografie (OCT). Experimente zur OCT-gesteuerten Cochleostomie. Laryngorhinootologie 2008; 87(9):641-646.**

27. Djalilian, HR, Ridgway, J, Tam, M, et al. Imaging the human tympanic membrane using optical coherence tomography in vivo. Otol Neurotol 2008; 29(8):1091-1094.

28. **Clift, JM, Wong, RD, Carney, GM, et al. Radiographic analysis of cochlear nerve vascular compression. Ann Otol Rhinol Laryngol 2009; 118(5):356-361.**

29. Kim, JS, Cho, KH, Lee, H. Isolated labyrinthine infarction as a harbinger of anterior inferior cerebellar artery territory infarction with normal diffusion-weighted brain MRI. J Neurol Sci 2009; 278(1-2):82-84.

30. Carner, M, Colletti, L, Shannon, R, et al. Imaging in 28 children with cochlear nerve aplasia. Acta Otolaryngol 2009; 129(4):458-461.

31. **Warren, FM, Shelton, C, Wiggins, RH, 3rd, et al. Imaging characteristics of metastatic lesions to the cerebellopontine angle. Otol Neurotol 2008; 29(6):835-838.**

32. Isaacson, B, Kutz, JW, Jr., Mendelsohn, D, et al. CT venography: use in selecting a surgical approach for the treatment of petrous apex cholesterol granulomas. Otol Neurotol 2009; 30(3):386-391.

33. **Gurkov, R, Clevert, D, Krause, E. Sonography versus plain x rays in diagnosis of nasal fractures. Am J Rhinol 2008; 22(6):613-616.**

34. **Lee, MH, Cha, JG, Hong, HS, et al. Comparison of high-resolution ultrasonography and computed tomography in the diagnosis of nasal fractures. J Ultrasound Med 2009; 28(6):717-723.**

35. Jung, YG, Kim, HY, Dhong, HJ, et al. Ultrasonographic monitoring of implant thickness after augmentation rhinoplasty with expanded polytetrafluoroethylene. Am J Rhinol Allergy 2009; 23(1):105-110.

36. Casasbuenas, A, Wong, AE, Sepulveda, W. First-trimester nasal bone length in a normal Latin American population. Prenat Diagn 2009; 29(2):108-112.

37. Persico, N, Borenstein, M, Molina, F, et al. Prenasal thickness in trisomy-21 fetuses at 16-24 weeks of gestation. Ultrasound Obstet Gynecol 2008; 32(6):751-754.

38. **Kanagalingam, J, Bhatia, K, Georgalas, C, et al. Maxillary mucosal cyst is not a manifestation of rhinosinusitis: results of a prospective three-dimensional CT study of ophthalmic patients. Laryngoscope 2009; 119(1):8-12.**

39. White, ML, Zhang, Y. Sinonasal secretions: evaluation by diffusion-weighted imaging and apparent diffusion coefficients. Clin Imaging 2008; 32(5):382-386.

40. Nemec, SF, Peloschek, P, Koelblinger, C, et al. Sinonasal imaging after Caldwell-Luc surgery: MDCT findings of an abandoned procedure in times of functional endoscopic sinus surgery. Eur J Radiol 2009; 70(1):31-34.

41. **Wang, JH, Lee, BJ, Lee, JH, et al. Development of mucosal thickening after radiotherapy in contralateral sinuses of patients with nasal cavity and/or paranasal sinus carcinoma. Ann Otol Rhinol Laryngol 2008; 117(11):844-848.**

42. Talay, F, Kurt, B, Gurel, K, et al. Paranasal computed tomography results in asthma patients: association between sinus sites and allergen types. Allergy Asthma Proc 2008; 29(5):475-479.

43. Orlandi, RR, Wiggins, RH, 3rd. Radiological sinonasal findings in adults with cystic fibrosis. Am J Rhinol Allergy 2009; 23(3):307-311.

44. **Abolmaali, N, Hummel, T, Damm, M. Moderne bildgebende Diagnostik bei Riechstörungen. Laryngorhinootologie 2009; 88(1):10-16.**

45. Cohen, EG, Baredes, S, Zuckier, LS, et al. 18F-FDG PET evaluation of sinonasal papilloma. AJR Am J Roentgenol 2009; 193(1):214-217.

46. Lin, FY, Genden, EM, Lawson, WL, et al. High uptake in schneiderian papillomas of the maxillary sinus on positron-emission tomography using fluorodeoxyglucose. AJNR Am J Neuroradiol 2009; 30(2):428-430.

47. **Strauss, G, Limpert, E, Fischer, M, et al. Virtuelle Echtzeit-Endoskopie der Nase und Nasennebenhöhlen. Surgical planning system "Sinus endoscopy" (SPS-SE). Hno 2009; 57(8):789-796.**

48. Fujikura, T, Tanaka, N, Sugiura, E, et al. Clinical application of virtual endoscopy as a support system for endoscopic sinus surgery. Acta Otolaryngol 2009; 129(6):674-680.

49. Belina, S, Cuk, V, Klapan, I, et al. Our experience with virtual endoscopy of paranasal sinuses. Coll Antropol 2008; 32(3):887-892.

50. Kosling, S, Knipping, S, Hofmockel, T. Bildgebung bei Erkrankungen des Nasopharynx. Radiologe 2009; 49(1):17-26.

51. Mao, YP, Liang, SB, Liu, LZ, et al. The N staging system in nasopharyngeal carcinoma with radiation therapy oncology group guidelines for lymph node levels based on magnetic resonance imaging. Clin Cancer Res 2008; 14(22):7497-7503.

52. Abrigo, JM, King, AD, Leung, SF, et al. MRI of radiation-induced tumors of the head and neck in post-radiation nasopharyngeal carcinoma. Eur Radiol 2009; 19(5):1197-1205.

53. Shigeta, Y, Ogawa, T, Venturin, J, et al. Gender- and age-based differences in computerized tomographic measurements of the orophaynx. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2008; 106(4):563-570.

54. Koren, A, Groselj, LD, Fajdiga, I. CT comparison of primary snoring and obstructive sleep apnea syndrome: role of pharyngeal narrowing ratio and soft palate-tongue contact in awake patient. Eur Arch Otorhinolaryngol 2009; 266(5):727-734.

55. Lahav, Y, Rosenzweig, E, Heyman, Z, et al. Tongue base ultrasound: a diagnostic tool for predicting obstructive sleep apnea. Ann Otol Rhinol Laryngol 2009; 118(3):179-184.

56. Moriwaki, H, Inoue, Y, Namba, K, et al. Clinical significance of upper airway obstruction pattern during apneic episodes on ultrafast dynamic magnetic resonance imaging. Auris Nasus Larynx 2009; 36(2):187-191.

57. Maitland, KC, Gillenwater, AM, Williams, MD, et al. In vivo imaging of oral neoplasia using a miniaturized fiber optic confocal reflectance microscope. Oral Oncol 2008; 44(11):1059-1066.

58. Roblyer, D, Kurachi, C, Stepanek, V, et al. Objective detection and delineation of oral neoplasia using autofluorescence imaging. Cancer Prev Res (Phila Pa) 2009; 2(5):423-431

59. Luk, WH, Fan, WC, Chan, RY, et al. Foreign body ingestion: comparison of diagnostic accuracy of computed tomography versus endoscopy. J Laryngol Otol 2009; 123(5):535-540.

60. Limb, M, Connor, A, Pickford, M, et al. Scintigraphy can be used to compare delivery of sore throat formulations. Int J Clin Pract 2009; 63(4):606-612.

61. Beser, M, Gultekin, E, Yener, M, et al. Detection of laryngeal tumors and tumoral extension by multislice computed tomography-virtual laryngoscopy (MSCT-VL). Eur Arch Otorhinolaryngol 2009; 266(12):1953-1958.

62. Taha, MS, Mostafa, BE, Fahmy, M, et al. Spiral CT virtual bronchoscopy with multiplanar reformatting in the evaluation of post-intubation tracheal stenosis: comparison between endoscopic, radiological and surgical findings. Eur Arch Otorhinolaryngol 2009; 266(6):863-866.

63. Becker, M, Zbaren, P, Casselman, JW, et al. Neoplastic invasion of laryngeal cartilage: reassessment of criteria for diagnosis at MR imaging. Radiology 2008; 249(2):551-559.

64. Ljumanovic, R, Langendijk, JA, Hoekstra, OS, et al. Pre- and post-radiotherapy MRI results as a predictive model for response in laryngeal carcinoma. Eur Radiol 2008; 18(10):2231-2240.

65. Robinson, S, Juutilainen, M, Suomalainen, A, et al. Multidetector row computed tomography of the injured larynx after trauma. Semin Ultrasound CT MR 2009; 30(3):188-194.

66. Eller, R, Ginsburg, M, Lurie, D, et al. Flexible laryngoscopy: a comparison of fiber optic and distal chip technologies-part 2: laryngopharyngeal reflux. J Voice 2009; 23(3):389-395.

67. Eller, R, Ginsburg, M, Lurie, D, et al. Flexible laryngoscopy: a comparison of fiber optic and distal chip technologies. Part 1: vocal fold masses. J Voice 2008; 22(6):746-750.

68. Kraft, M, Glanz, H, von Gerlach, S, et al. Optical coherence tomography: Significance of a new method for assessing unclear laryngeal pathologies.. Hno 2009.

69. Freling, N, Roele, E, Schaefer-Prokop, C, et al. Prediction of deep neck abscesses by contrast-enhanced computerized tomography in 76 clinically suspect consecutive patients. Laryngoscope 2009; 119(9):1745-1752.

70. Yoon, DY, Hwang, HS, Chang, SK, et al. CT, MR, US,18F-FDG PET/CT, and their combined use for the assessment of cervical lymph node metastases in squamous cell carcinoma of the head and neck. Eur Radiol 2009; 19(3):634-642.

71. Schroeder, U, Dietlein, M, Wittekindt, C, et al. Is there a need for positron emission tomography imaging to stage the N0 neck in T1-T2 squamous cell carcinoma of the oral cavity or oropharynx? Ann Otol Rhinol Laryngol 2008; 117(11):854-863.

Besonders wichtige Arbeiten sind im Text und im Literaturverzeichnis **fett** gedruckt.

72. Vandecaveye, V, De Keyzer, F, Vander Poorten, V, et al. Head and neck squamous cell carcinoma: value of diffusion-weighted MR imaging for nodal staging. Radiology 2009; 251(1):134-146.

73. Alam, F, Naito, K, Horiguchi, J, et al. Accuracy of sonographic elastography in the differential diagnosis of enlarged cervical lymph nodes: comparison with conventional B-mode sonography. AJR Am J Roentgenol 2008; 191(2):604-610.

74. Rabalais, AG, Walvekar, R, Nuss, D, et al. Positron emission tomography-computed tomography surveillance for the node-positive neck after chemoradiotherapy. Laryngoscope 2009; 119(6):1120-1124.

75. Kimura, Y, Sumi, M, Sakihama, N, et al. MR imaging criteria for the prediction of extranodal spread of metastatic cancer in the neck. AJNR Am J Neuroradiol 2008; 29(7):1355-1359.

76. Hsu, YB, Chu, PY, Liu, JC, et al. Role of chest computed tomography in head and neck cancer. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 2008; 134(10):1050-1054.

77. McLeod, NM, Jess, A, Anand, R, et al. Role of chest CT in staging of oropharyngeal cancer: a systematic review. Head Neck 2009; 31(4):548-555.

78. Nakamoto, Y, Tamai, K, Saga, T, et al. Clinical value of image fusion from MR and PET in patients with head and neck cancer. Mol Imaging Biol 2009; 11(1):46-53.

79. Rodrigues, RS, Bozza, FA, Christian, PE, et al. Comparison of whole-body PET/CT, dedicated high-resolution head and neck PET/CT, and contrast-enhanced CT in preoperative staging of clinically M0 squamous cell carcinoma of the head and neck. J Nucl Med 2009; 50(8):1205-1213.

80. Torizuka, T, Tanizaki, Y, Kanno, T, et al. Prognostic value of 18F-FDG PET in patients with head and neck squamous cell cancer. AJR Am J Roentgenol 2009; 192(4):W156-160.

81. Liao, CT, Chang, JT, Wang, HM, et al. Preoperative [18F]fluorodeoxyglucose positron emission tomography standardized uptake value of neck lymph nodes predicts neck cancer control and survival rates in patients with oral cavity squamous cell carcinoma and pathologically positive lymph nodes. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2009; 74(4):1054-1061.

82. Schöder, H, Fury, M, Lee, N, et al. PET monitoring of therapy response in head and neck squamous cell carcinoma. J Nucl Med 2009; 50 Suppl 1:74S-88S.

83. Martin, RC, Fulham, M, Shannon, KF, et al. Accuracy of positron emission tomography in the evaluation of patients treated with chemoradiotherapy for mucosal head and neck cancer. Head Neck 2009; 31(2):244-250.

84. Yao, M, Smith, RB, Hoffman, HT, et al. Clinical significance of postradiotherapy [18F]-fluorodeoxyglucose positron emission tomography imaging in management of head-and-neck cancer-a long-term outcome report. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2009; 74(1):9-14.

85. Moeller, BJ, Rana, V, Cannon, BA, et al. Prospective risk-adjusted [18F]Fluorodeoxyglucose positron emission tomography and computed tomography assessment of radiation response in head and neck cancer. J Clin Oncol 2009; 27(15):2509-2515.

86. Kim, S, Loevner, L, Quon, H, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging for predicting and detecting early response to chemoradiation therapy of squamous cell carcinomas of the head and neck. Clin Cancer Res 2009; 15(3):986-994.

87. Abgral, R, Querellou, S, Potard, G, et al. Does 18F-FDG PET/CT improve the detection of posttreatment recurrence of head and neck squamous cell carcinoma in patients negative for disease on clinical follow-up? J Nucl Med 2009; 50(1):24-29.

88. Pantvaidya, GH, Agarwal, JP, Deshpande, MS, et al. PET-CT in recurrent head neck cancers: a study to evaluate impact on patient management. J Surg Oncol 2009; 100(5):401-403.

89. Gourin, CG, Watts, T, Williams, HT, et al. Identification of distant metastases with PET-CT in patients with suspected recurrent head and neck cancer. Laryngoscope 2009; 119(4):703-706.

90. Desser, TS, Kamaya, A. Ultrasound of thyroid nodules. Neuroimaging Clin N Am 2008; 18(3):463-478, vii.

91. Hong, Y, Liu, X, Li, Z, et al. Real-time ultrasound elastography in the differential diagnosis of benign and malignant thyroid nodules. J Ultrasound Med 2009; 28(7):861-867.

92. Kabala, JE. Computed tomography and magnetic resonance imaging in diseases of the thyroid and parathyroid. Eur J Radiol 2008; 66(3):480-492.

93. Bozgeyik, Z, Coskun, S, Dagli, AF, et al. Diffusion-weighted MR imaging of thyroid nodules. Neuroradiology 2009; 51(3):193-198.

94. Wang, TS, Cheng, DW, Udelsman, R. Contemporary imaging for thyroid cancer. Surg Oncol Clin N Am 2007; 16(2):431-445.

95. Aygun, N. Imaging of recurrent thyroid cancer. Otolaryngol Clin North Am 2008; 41(6):1095-1106, viii.

Besonders wichtige Arbeiten sind im Text und im Literaturverzeichnis **fett** gedruckt.

96. Wong, KK, Zarzhevsky, N, Cahill, JM, et al. Hybrid SPECT-CT and PET-CT imaging of differentiated thyroid carcinoma. Br J Radiol 2009; 82(982):860-876.

97. Rufini, V, Treglia, G, Perotti, G, et al. Role of PET in medullary thyroid carcinoma. Minerva Endocrinol 2008; 33(2):67-73.

98. Psaty, EL, Halpern, AC. Current and emerging technologies in melanoma diagnosis: the state of the art. Clin Dermatol 2009; 27(1):35-45.

99. Dancey, AL, Mahon, BS, Rayatt, SS. A review of diagnostic imaging in melanoma. J Plast Reconstr Aesthet Surg 2008; 61(11):1275-1283.

100. Krug, B, Crott, R, Lonneux, M, et al. Role of PET in the initial staging of cutaneous malignant melanoma: systematic review. Radiology 2008; 249(3):836-844.

101. Cacaci, C, Frank, E, Bumann, A. DVT - Digital Volume Tomography. J Cont Dent Educ 2007; 3:2-9.

102. Miracle, AC, Mukherji, SK. Conebeam CT of the head and neck, part 2: clinical applications. AJNR Am J Neuroradiol 2009; 30(7):1285-1292.

103. Zoumalan, RA, Lebowitz, RA, Wang, E, et al. Flat panel cone beam computed tomography of the sinuses. Otolaryngol Head Neck Surg 2009; 140(6):841-844.

104. Ruivo, J, Mermuys, K, Bacher, K, et al. Cone beam computed tomography, a low-dose imaging technique in the postoperative assessment of cochlear implantation. Otol Neurotol 2009; 30(3):299-303.

105. Peltonen, LI, Aarnisalo, AA, Kaser, Y, et al. Cone-beam computed tomography: a new method for imaging of the temporal bone. Acta Radiol 2009; 50(5):543-548.

106. Yamane, H, Takayama, M, Sunami, K, et al. Three-dimensional images of the reuniting duct using cone beam CT. Acta Otolaryngol 2009; 129(5):493-496.

107. Aboudara, C, Nielsen, I, Huang, JC, et al. Comparison of airway space with conventional lateral headfilms and 3-dimensional reconstruction from cone-beam computed tomography. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2009; 135(4):468-479.

108. Shigeta, Y, Enciso, R, Ogawa, T, et al. Correlation between retroglossal airway size and body mass index in OSA and non-OSA patients using cone beam CT imaging. Sleep Breath 2008; 12(4):347-352.

109. Yamashina, A, Tanimoto, K, Sutthiprapaporn, P, et al. The reliability of computed tomography (CT) values and dimensional measurements of the oropharyngeal region using cone beam CT: comparison with multidetector CT. Dentomaxillofac Radiol 2008; 37(5):245-251.

110. Strauss, G. Computerassistierte Chirurgie an der Rhinobasis. Hno 2009.

111. Nakamura, M, Stover, T, Rodt, T, et al. Neuronavigational guidance in craniofacial approaches for large (para)nasal tumors involving the anterior skull base and upper clival lesions. Eur J Surg Oncol 2009; 35(6):666-672.

112. Nauer, CB, Eichenberger, A, Dubach, P, et al. CT radiation dose for computer-assisted endoscopic sinus surgery: dose survey and determination of dose-reduction limits. AJNR Am J Neuroradiol 2009; 30(3):617-622.

113. Wise, SK, Harvey, RJ, Goddard, JC, et al. Combined image guidance and intraoperative computed tomography in facilitating endoscopic orientation within and around the paranasal sinuses. Am J Rhinol 2008; 22(6):635-641.

114. Genden, EM, Desai, S, Sung, CK. Transoral robotic surgery for the management of head and neck cancer: a preliminary experience. Head Neck 2009; 31(3):283-289.

115. Moore, EJ, Olsen, KD, Kasperbauer, JL. Transoral robotic surgery for oropharyngeal squamous cell carcinoma: A prospective study of feasibility and functional outcomes. Laryngoscope 2009; 119(11):2156-2164.

116. Park, YM, Lee, WJ, Lee, JG, et al. Transoral robotic surgery (TORS) in laryngeal and hypopharyngeal cancer. J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2009; 19(3):361-368.

117. Desai, SC, Sung, CK, Genden, EM. Transoral robotic surgery using an image guidance system. Laryngoscope 2008; 118(11):2003-2005.

118. Maier, T, Strauss, G, Dietz, A, et al. Erster klinischer Einsatz eines neuartigen Mikromanipulators für die Mittelohrchirurgie. Laryngorhinootologie 2008; 87(9):620-622.