

M. Wiesmann¹ · T. E. Mayer¹ · R. Medele² · H. Brückmann¹

¹ Abteilung für Neuroradiologie, Klinik Großhadern der LMU München

² Klinik für Neurochirurgie, Klinikum Großhadern der LMU München

Nachweis der akuten Subarachnoidalblutung

FLAIR- und Protonendichte-gewichtete MRT-Sequenzen bei 1.5 Tesla

Zusammenfassung

Fragestellung: Evaluierung der Diagnostik akuter Subarachnoidalblutungen (SAB) bei 1.5 Tesla unter Verwendung einer Fluid Attenuated Inversion Recovery (FLAIR) Sequenz sowie einer Protonendichte-gewichteten (PDW) Turbo-Spinecho (TSE) Sequenz.

Methodik: 19 Patienten mit nachgewiesener akuter SAB (CT) wurden 6 h bis 3 t nach Blutung untersucht. Als Kontrollgruppe wurden 10 Patienten ohne SAB untersucht. Neben der Diagnosestellung wurde auch das Auftreten von Artefakten im Bereich der Subarachnoidalräume registriert.

Ergebnisse: Mit beiden Sequenzen gelang bei allen 19 Patienten die sichere Diagnosestellung (100%). Alle Patienten aus der Kontrollgruppe wurden als unauffällig befundet. Auf den FLAIR-Aufnahmen fanden sich fragliche Artefakte im Ventrikelsystem bei 7 der 19, in den basalen Zisternen bei 6 der 19 Patienten. Von diesen insgesamt 13 Regionen mit fraglichen Artefakten waren 9 sowohl auf PDW- wie CT-Aufnahmen unauffällig. In den übrigen 4 Regionen zeigten sowohl PDW wie CT Blut.

Schlussfolgerungen: Der kernspintomographische Nachweis einer SAB ist bei 1.5 Tesla mit ähnlicher Sensitivität wie mittels CT möglich. Durch Kombination von FLAIR- mit einer PDW-TSE-Sequenz können falsch-positive Befunde durch Flußartefakte vermieden werden.

Schlüsselwörter

MRT-Diagnostik bei 1.5 Tesla · FLAIR-Sequenz · Akute Subarachnoidalblutung

Initial beim klinischen Verdacht auf eine Subarachnoidalblutung (SAB) wird üblicherweise zunächst eine Computertomographie (CT) durchgeführt, um das Vorliegen einer SAB zu bestätigen. Bei negativem CT-Befund ist die Lumbalpunktion mit Blutnachweis im Liquor der diagnostische Goldstandard. Nach erfolgtem SAB-Nachweis wird danach in der Regel eine zerebrale Angiographie in DSA-Technik durchgeführt, um die Blutungsursache darzustellen. In den meisten Fällen findet sich ein Aneurysma der Hirnbasisarterien als Blutungsquelle.

Obwohl die Magnetresonanztomographie (MRT) durch ihre überlegenen diagnostischen Möglichkeiten heute bei nahezu allen Erkrankungen, die das ZNS betreffen, als bestes bildgebendes Verfahren gilt, spielt sie bei der SAB bislang nur eine untergeordnete Rolle.

T₁- und T₂-gewichtete Spinecho (SE) Sequenzen haben sich als ungeeignet zum Nachweis einer akuten SAB erwiesen. In den letzten Jahren haben zahlreiche Untersucher eine hohe Sensitivität der Fluid Attenuated Inversion Recovery (FLAIR) Sequenz für eine akute SAB berichtet. Allerdings wurden diese Studien überwiegend bei niedriger Feldstärke durchgeführt. Besonders bei höheren Feldstärken können bei der FLAIR-Sequenz störende Flußartefakte im Bereich der Subarachnoidalräume auftreten.

Ziel dieser Arbeit ist es, die bisher in der Literatur vorliegenden Erfahrungen zum kernspintomographischen Nachweis einer akuten SAB zusammenzufassen. Ferner wird eine Protonen-

dichte-gewichtete (PDW) Turbo-Spinecho (TSE) Sequenz vorgestellt, mit der subarachnoidales Blut ähnlich sensitiv wie mit der FLAIR-Sequenz nachgewiesen werden kann, die aber weitgehend frei von störenden Liquorflußartefakten ist. An einem Kollektiv von Patienten mit einer akuten SAB wurde evaluiert, ob auch bei 1.5 Tesla mit PDW- und FLAIR-Sequenzen ein sicherer SAB-Nachweis möglich ist.

Patienten und Methodik

19 Patienten (8 Männer und 11 Frauen, durchschnittliches Alter 51.1±9.4 Jahre) mit computertomographisch nachgewiesener akuter SAB wurden untersucht. Die Blutungsursache war ein zerebrales Aneurysma (n=12), ein Schädel-Hirn-Trauma (n=2) oder eine Vasculitis (n=1). In 4 Fällen entsprach das Verteilungsmuster der Blutung einer perimesenzephalen SAB und in der zerebralen Angiographie konnte kein Aneurysma nachgewiesen werden. Nur Patienten, die wach und ansprechbar waren, wurden in die Studie eingeschlossen. Alle Patienten bzw. deren Angehörige wurden entsprechend aufgeklärt und willigten in die Untersuchung ein. Die MRT-Untersuchung erfolgte 6–72 Stunden nach dem Blutungsereignis (Mittelwert 26.9±19.3 Stunden). Als Kontrollgruppe wurden

Prof. Dr. H. Brückmann

Abteilung für Neuroradiologie, Klinikum

Großhadern, Ludwig-Maximilians-Universität

München, Marchioninstr. 15, D-81377 München

Diagnosis of acute subarachnoid hemorrhage at 1.5 Tesla using proton-density weighted FSE and FLAIR sequences

Summary

Purpose: To evaluate MR imaging at 1.5 Tesla in patients suffering from acute subarachnoid hemorrhage (SAH) using proton-density weighted (PDW) fast spin echo (FSE) and fluid attenuated inversion recovery (FLAIR) sequences.

Methods: 19 patients suffering from acute SAH as diagnosed by CT were studied 6 h to 3 days after hemorrhage. 10 patients without SAH were studied as a control group. The presence of subarachnoid blood as well as possible artifacts was recorded.

Results: In all 19 patients subarachnoid hemorrhage was detected on both FLAIR and PDW images (100%). On the FLAIR images, the cerebral ventricles were partially obscured by flow artifacts in 7 of 19 patients, the basal cisterns in 6 of 19 patients. In 4 of these 13 regions blood was diagnosed on both PDW and CT images, while in the other 9 regions both PDW and CT were unremarkable.

Conclusion: The sensitivity of MRI at 1.5 Tesla in the diagnosis of subarachnoid hemorrhage is comparable to CT. The combination of FLAIR and PDW FSE sequences helps to avoid false-positive results caused by flow artifacts.

Key words

MR imaging at 1.5 Tesla · FLAIR sequence · Acute subarachnoid hemorrhage

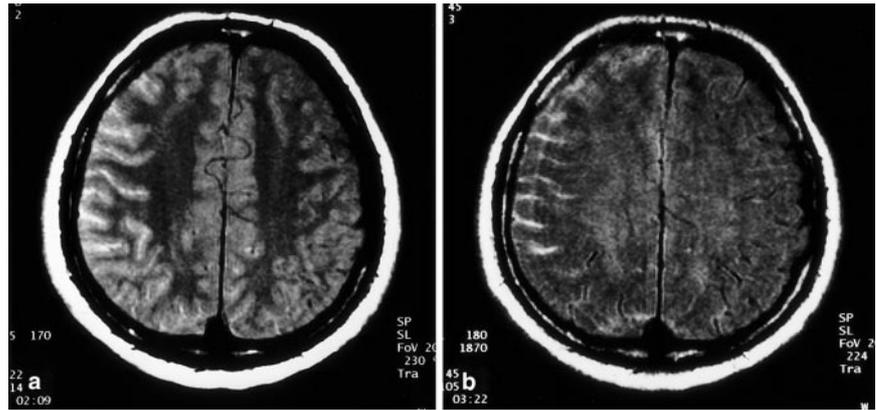


Abb. 1a, b ▲ Axiale MRT-Untersuchung 6 Stunden nach Subarachnoidalblutung: Nachweis von hyperintensem Blut in den rechtsseitigen kortikalen Sulci. (a) Protonendichte-Wichtung. (b) FLAIR

10 Patienten ohne SAB, die aufgrund anderer klinischer Fragestellungen in der MRT untersucht wurden, in die Studie eingeschlossen.

Alle Untersuchungen wurden an einem 1.5 Tesla Kernspintomographen durchgeführt (Siemens Vision®). Bei allen Patienten wurde eine T2- und PD-gewichtete TSE-Sequenz (TR 2210 ms, TE 14/85 ms, Flipwinkel 170°, Echozuglänge 5, Schichtdicke 5 mm, FOV 230 mm, Matrix 230×256, Sequenzdauer 2:09 min) sowie eine T2-gewichtete Turbo-FLAIR-Sequenz (TR 4500 ms, TE 105 ms, TI 1870 ms, Flipwinkel 180°, Echozuglänge 7, Schichtdicke 5 mm, FOV 230 mm, Matrix 224×256, Sequenzdauer 3:22 min) durchgeführt.

Alle 29 Untersuchungen wurden nach Studienende randomisiert und von zwei Neuroradiologen unabhängig beurteilt. Hyperintensitäten im Bereich der Subarachnoidalräume (kortikale Sulci, Ventrikelsystem, basale Zisternen) wurden von den Untersuchern nach folgenden Kriterien bewertet: (1) vereinbar mit einer SAB, (2) Artefakt, (3) nicht sicher zwischen Artefakt und SAB unterscheidbar. Nach Abschluß der Bewertung wurden die MRT-Aufnahmen der Patienten mit einer SAB mit den jeweiligen CT-Untersuchungen verglichen.

Ergebnisse

Bei allen 19 Patienten wurde von beiden Untersuchern jeweils die SAB richtig erkannt (100%). Die Diagnosestellung war in jedem Fall sowohl mit der FLAIR- wie auch mit der PDW-Sequenz möglich. In Projektion auf die okzipita-

len Sulci fand sich bei einem der 19 Patienten eine geringe Hyperintensität auf den PDW-Aufnahmen, die von den Untersuchern als am ehesten artefaktbedingt eingeschätzt wurde. FLAIR- und CT-Aufnahmen zeigten in dieser Region einen unauffälligen Befund. Im Bereich der kortikalen Sulci gab es ansonsten keine wesentlichen Unterschiede zwischen PDW- und FLAIR-Sequenz (Abb. 1).

Im Bereich des Ventrikelsystems, überwiegend im 4. Ventrikel, wurden bei 7 von 19 Patienten (36,8%) auf den FLAIR-Aufnahmen Hyperintensitäten registriert, bei denen nicht sicher zwischen Artefakt und SAB unterschieden werden konnte. Bei 6 von diesen 7 Untersuchungen waren PDW- und CT-Befund unauffällig (Abb. 2). Bei einer der 7 Untersuchungen zeigten sowohl PDW wie auch CT eine Blutung (Abb. 3).

In den basalen Zisternen wurden bei 6 von 19 Patienten auf den FLAIR-Aufnahmen Artefakte beobachtet (31,6%). Die Artefakte waren lokalisiert in der Zisterna magna (4/19), der präpontinen Zisterne (1/19), sowie in der Fossa interpeduncularis (1/19). Bei 2 dieser 6 Fälle zeigten PDW- und CT-Aufnahmen subarachnoidales Blut, bei den übrigen 4 Fällen waren PDW und CT übereinstimmend unauffällig. Bei kombinierter Beurteilung mit PDW- und FLAIR-Sequenz wurde kein Patient aus der Kontrollgruppe als falsch-positiv eingeschätzt.

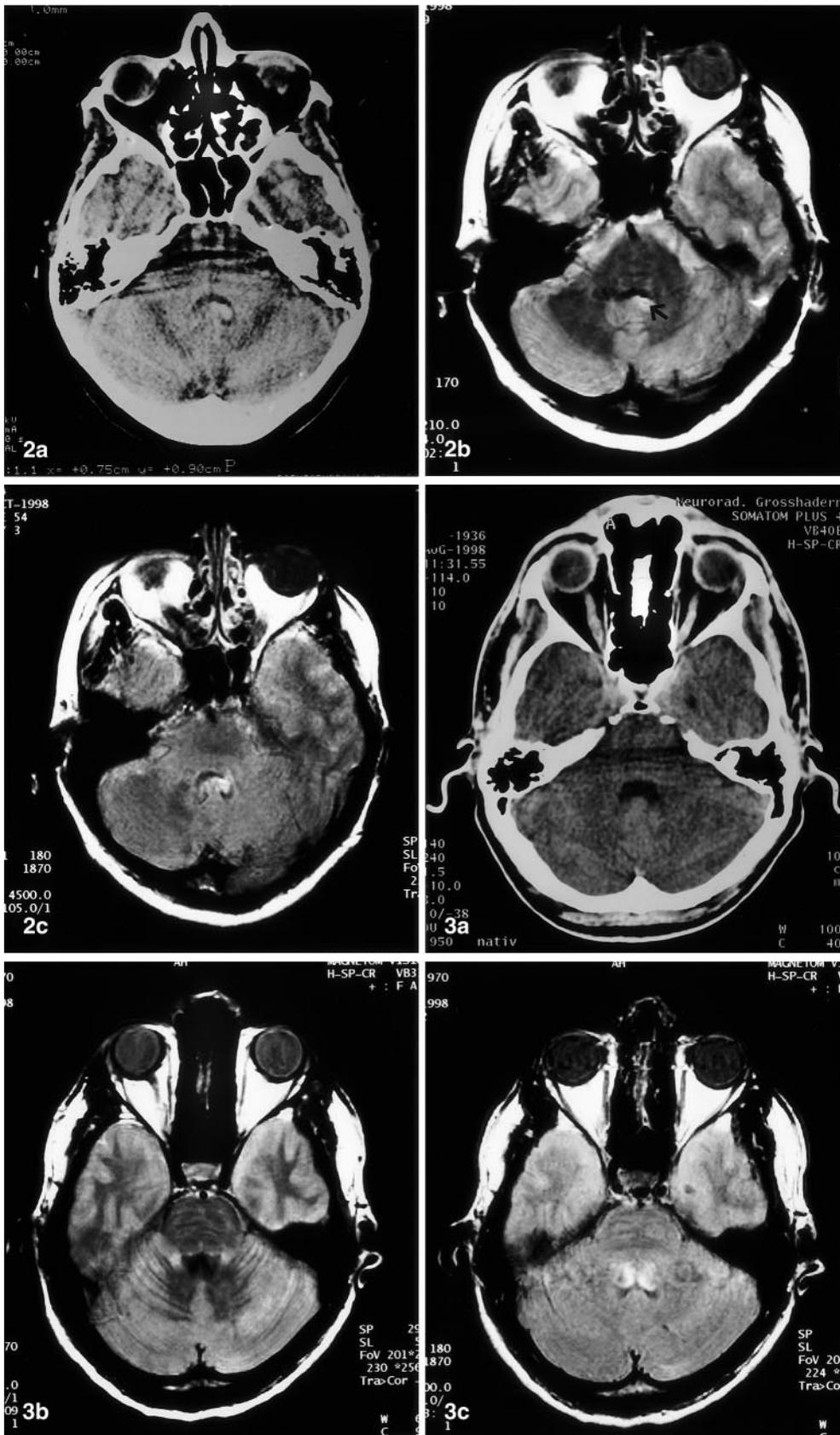


Abb. 2a–c ◀ **Akute Subarachnoidalblutung.** (a) Axiale CT. Nachweis von Blut im 4. Ventrikel. Basale Zisternen artefaktüberlagert. (b) Axiale MRT in Protonendichte-Wichtung. Hyperintenses Signal im 4. Ventrikel (*Pfeil*). Die Hyperintensität in den basalen Zisternen entspricht ebenfalls Blut. (c) Axiale FLAIR-Aufnahme. Hyperintensität im 4. Ventrikel, bei der es sich sowohl um Blut wie um einen Flußartefakt handeln kann. Inhomogenes Signal in den basalen Zisternen

Abb. 3a–c ◀ **Akute Subarachnoidalblutung.** (a) Axiale CT. Kein Blutnachweis im 4. Ventrikel. (b) Axiale MRT in Protonendichte-Wichtung. Unauffälliges Signal im 4. Ventrikel. (c) Axiale FLAIR-Aufnahme. Flußartefakt im 4. Ventrikel, Blut im 4. Ventrikel kann nicht sicher ausgeschlossen werden

Diskussion

Nachweis von frischem Blut in der MRT

Der Nachweis von intrakraniell Blut in der MRT basiert in erster Linie auf dem Abbau des Hämoglobins und daneben auf dem Vorgang der Blutgerinnung, der zu einer Schrumpfung und Verdichtung des Blutclots führt. Das direkt nach Eintritt der Blutung vorliegende Oxyhämoglobin verhält sich diamagnetisch und ist daher mit SE-Sequenzen nicht sicher nachweisbar. Im Verlauf von einigen Stunden wird das Oxyhämoglobin allmählich in paramagnetisches Deoxyhämoglobin umgewandelt. Dadurch entsteht das für akute intrazerebrale Blutungen charakteristische Erscheinungsbild: Durch die verkürzte T₂-Zeit im Hämatom kommt das Hämatom auf T₂-gewichteten Aufnahmen hypointens zur Darstellung. Dieser Suszeptibilitätseffekt ist umso ausgeprägter, je größer das Hämatom ist, und je vollständiger die Umwandlung in Deoxyhämoglobin erfolgt ist, was etwa 1 bis 3 Tage erfordert. Mit Gradientenecho (GE) oder Echo-planar-imaging (EPI) Sequenzen, die sehr anfällig für Suszeptibilitätsartefakte sind, kann man auch kleinere Blutungen erkennen und die diagnostische Lücke in den ersten Stunden nach Eintritt der Blutung verkürzen. Auf T₁-gewichteten SE-Sequenzen weisen akute Hämatome überwiegend eine isointense Signalintensität auf. Erst nach Umwandlung des Deoxyhämoglobins in Methämoglobin, was etwa 3 Tage erfordert, kommen Hämatome auf T₁-gewichteten Aufnahmen hyperintens zur Darstellung. Darauf, und auch auf die im weiteren Verlauf noch auftretenden Veränderungen soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Kernspintomographische Grundlagen des SAB-Nachweises

Der beschriebene Nachweis des Deoxyhämoglobins funktioniert zuverlässig für intraparenchymatöse Blutungen, er hat sich für die Diagnostik der SAB jedoch nicht bewährt. Die Subarachnoidalräume liegen zum großen Teil in der Nähe von knöchernen Strukturen, wie etwa Kalotte und Schädelbasis. Auf suszeptibilitätsgewichteten Sequenzen sind sie deshalb von Artefakten überlagert.

Anders als intrazerebrale Blutungen sind akute Subarachnoidalblutungen dagegen auf herkömmlichen T₁- und T₂-gewichteten SE-Sequenzen häufig nicht erkennbar. So wurde etwa in einer Untersuchung berichtet, daß die Sensitivität für akute Subarachnoidalblutungen mit einer T₁-gewichteten SE-Sequenz 36%, mit einer mäßig T₂-gewichteten SE-Sequenz 50% betrug [13]. Es sind vor allem die Fälle mit ausgeprägter SAB, in denen dann dickere einzelne Blutclots auf T₁- und T₂-gewichteten SE-Aufnahmen nachweisbar sind [20]. Diese Ergebnisse sind die Grundlage der weit verbreiteten Einschätzung, daß die MRT wenig geeignet zum Nachweis der akuten SAB sei. Als Ursache der geringen Sensitivität der SE-Sequenzen wurde vermutet, daß die aus der Literatur bekannten, für Parenchymlutungen entwickelten Gesetzmäßigkeiten des Hämoglobinabbaus nicht ohne weiteres auf subarachnoidales Blut übertragbar sind. So soll etwa die hohe Sauerstoffpartialitätsättigung des Liquors zu einer verminderten Umwandlung von Oxy- zu Deoxyhämoglobin führen [5]. Von anderen Autoren wurde postuliert, daß im Liquor die Gerinnung und Retraction von Blutclots, die selbst schon zu einer T₂-Verkürzung führen, behindert sei, und zudem Erythrozyten im Liquor nicht wie in intrazerebralen Hämatomen schrumpfen, sondern eher an Volumen zunehmen [19].

PDW

Zum kernspintomographischen Nachweis einer SAB kann noch ein weiteres physikalisches Prinzip genutzt werden: Jede Blutung in den Subarachnoidalraum führt zu einer lokalen Erhöhung der Proteinkonzentration. Dies verkürzt vor allem die T₁-Zeit, geringfügig auch die T₂-Zeit. Bereits 1988 wurde berichtet, daß eine SAB sich durch die verkürzte T₁-Zeit auf PDW-gewichteten SE-Aufnahmen hyperintens darstellen kann [6, 15, 20]. Von anderen Untersuchern konnte dies jedoch nicht nachvollzogen werden [1]. Ogawa et Uemura wiesen zurecht darauf hin, daß eine individuelle Anpassung der Sequenzparameter an Feldstärke und Scannertyp notwendig ist, um diesen Effekt der T₁-Verkürzung auf PDW-Aufnahmen zu sehen [14]. Wie die Ergebnisse unserer Studie zeigen, besitzen PDW-Sequen-

zen eine hohe Sensitivität für akutes subarachnoidales Blut, wenn die Sequenzparameter so gewählt werden, daß normaler Liquor in den Ventrikeln und Subarachnoidalräumen hypo- bis isointens zum Hirngewebe dargestellt wird, und eine Blutbeimengung zu einer deutlichen Signalsteigerung führt. Dazu darf die Repetitionszeit (TR) nicht zu lang gewählt werden, sodaß die eigentlich PDW-gewichteten Aufnahmen noch eine leichte T₁-Wichtung besitzen.

FLAIR

Bei der FLAIR-Sequenz wird durch einen zusätzlichen 180°-Inversionspuls das Signal von normalem Liquor ausgelöscht und bei dem darauffolgenden Spinecho durch eine lange Echozeit (TE) eine starke T₂-Gewichtung erreicht. Eine durch eine SAB erhöhte lokale Proteinkonzentration führt analog zum oben beschriebenen Mechanismus ebenfalls zu einer Hyperintensität, die im sonst hypointensen Subarachnoidalraum gut erkennbar ist. Nach ersten Berichten 1994 [10] gibt es mittlerweile eine Reihe von Studien, in denen gezeigt werden konnte, daß die FLAIR-Sequenz eine hohe Sensitivität für subarachnoidales Blut besitzt [4, 7, 9–12]. Aufgrund der bei der klassischen FLAIR Sequenz langen Meßzeit von 10–15 min werden heute in der Regel schnellere FLAIR-Sequenzen (TURBO-FLAIR, FAST-FLAIR) verwendet. Ein bekannter Nachteil ist allerdings, daß insbesondere die schnelleren FLAIR-Sequenzen anfällig sind für Pulsationsartefakte durch Liquorfluß oder venöses Blut. Trotz verschiedener Kompensationsversuche konnten diese hyperintensiven Artefakte bislang besonders bei hohen Feldstärken nicht zuverlässig unterdrückt werden und treten vor allem in den Ventrikeln und den basalen Zisternen auf, wo natürlich auch eine SAB vorliegen kann. Bezeichnenderweise wurden die größeren klinischen Studien bei Feldstärken zwischen 0,15 und 0,5 Tesla durchgeführt [7, 9, 11, 12]. Lediglich Singer et al. berichteten über eine Untersuchung an 6 Patienten mit akuter SAB bei einer Feldstärke von 1,5 Tesla [17]. Studien, in denen nicht nur untersucht wurde, wie sensitiv die Methode für eine SAB ist, sondern auch, wie häufig es bei einem größeren Nor-

malkollektiv zu artefaktbedingten falsch-positiven Befunden kommt, und wie häufig nicht mit Sicherheit zwischen Flußartefakten und einem pathologischen Befund unterschieden werden konnte, sind uns nicht bekannt.

Nachweis von subakutem Blut im Subarachnoidalraum

Wie in der Akutphase (s.o.), ist auch bei der subakuten SAB in der Literatur nur eine geringe Sensitivität von herkömmlichen T1- und T2-gewichteten SE-Sequenzen angegeben [12]. Die Proteinkonzentration kann aber auch Wochen nach einer SAB noch deutlich erhöht sein. Sowohl PDW wie FLAIR waren der CT in der subakuten und chronischen Phase nach SAB überlegen und zeigten Nachweisraten von 63–100% [12, 13].

Spezifität der kernspintomographischen SAB-Diagnostik

Die beiden beschriebenen Methoden zum SAB-Nachweis mittels FLAIR- und PDW-Sequenzen weisen lediglich die erhöhte Proteinkonzentration im Subarachnoidalraum nach. Beide Sequenzen können z.B. bei einer Meningitis oder einer Meningeosis carcinomatosa ebenfalls einen hyperintensiven Befund im Subarachnoidalraum liefern. Obwohl diese Möglichkeit stets bedacht werden muß, wird es jedoch aufgrund der unterschiedlichen Anamnese und Symptomatik im klinischen Alltag nur selten zu Überschneidungen kommen. Gegebenfalls muß aber zur differentialdiagnostischen Abklärung noch eine Untersuchung nach Gadoliniumgabe erfolgen, mit der man eine Meningeosis carcinomatosa mit hoher Wahrscheinlichkeit nachweisen kann.

Vergleich der Indikation und diagnostischen Wertigkeit von CT und MRT

Es ist allgemein anerkannt, daß die Computertomographie (CT) in der Akutphase einer SAB eine hohe Sensitivität besitzt. Die Nachweisraten in den ersten Tagen nach einer Blutung werden mit 85%–100% angegeben [16, 18]. Für den Primäreinsatz der CT bei Verdacht auf akute SAB sprechen – abgesehen von ökonomischen Gründen – vor allem die kürzere Untersuchungszeit

sowie die Tatsache, daß das Monitoring des evtl. schwerkranken Patienten in der CT deutlich einfacher als in der MRT ist.

In bestimmten Fällen kann die Diagnose mit der CT allerdings schwer oder sogar unmöglich sein. Dies hängt mit den Limitationen der CT zusammen und ist vor allem bei Aufhärtungsartefakten in der hinteren Schädelgrube oder bei sehr geringen Blutmengen relevant. Nach einigen Tagen nimmt die Sensitivität der CT deutlich ab. Eine Woche nach Blutung beträgt die Nachweisrate noch etwa 50%, nach 2 Wochen 30% und annähernd 0% nach 3 Wochen [18]. Der diagnostische Goldstandard bei negativem CT-Befund ist die Lumbalpunktion mit Blutnachweis im Liquor. Um dem Patienten in unklaren Fällen eine Lumbalpunktion oder sogar eine zerebrale Angiographie zu ersparen, wurde seit den 80er Jahren versucht, mit der MRT eine genauere Diagnostik zu erreichen. In zwei in-vitro-Modellen konnte gezeigt werden, daß die MRT der CT zum Nachweis von blutigem Liquor überlegen sein kann [3, 9]. Allerdings simulierten diese Modelle den Fall einer geringen Menge von flüssigem, in Liquor verdünntem Blut. Wenn diese Ergebnisse auf die Situation in vivo übertragen werden dürfen, dann also am ehesten auf sehr gering ausgeprägte Subarachnoidalblutungen ohne wesentliche umschriebene Blutclots, und auf weitgehend resorbierte, subakute Blutungen. Eine Studie, bei der ein größeres Kollektiv mit einer in der CT nicht sichtbaren akuten SAB in der MRT untersucht wurde, ist uns nicht bekannt.

Mehrere Untersucher haben mitgeteilt, daß die MRT das Ausmaß einer SAB, also die Blutverteilung in den gesamten Subarachnoidalräumen, auch in der Akutphase exakter darstellt als die CT [4, 6, 8, 11]. Dieser Eindruck wird auch von uns geteilt. Allerdings ist eine objektive Überprüfung schwierig, da Befunde, die nur in der MRT und nicht in der CT gesehen werden, nicht mehr weiter verifiziert werden können.

Bei subakuten Blutungen konnte dagegen klar gezeigt werden, daß die MRT der CT überlegen ist [12]. Im Zeitraum von 4–14 Tagen nach SAB betrug die Nachweisraten in dieser Untersuchung 100% mit der FLAIR Sequenz und lediglich 45% mit der CT. Nach un-

serer Einschätzung ist die MRT zur Abklärung einer fraglichen, mehr als 5 Tage zurückliegenden SAB eindeutig indiziert.

Schlußfolgerung

Wir konnten an einem größeren Kollektiv zeigen, daß auch bei 1,5 Tesla die MRT akute Subarachnoidalblutungen mit einer der CT vergleichbaren Sensitivität nachweisen kann. Auf den FLAIR-Aufnahmen traten in unserem Kollektiv einzelne Artefakte im Ventrikelsystem und den basalen Zisternen auf bei 36,8% bzw. 31,6% der Untersuchungen. Diese Ergebnisse sind mit anderen Untersuchungen, die mit schnellen FLAIR Sequenzen bei hohen Feldstärken durchgeführt wurden, vergleichbar [2]. Im klinischen Alltag würden diese Artefakte wohl nur selten zu falsch-positiven Befunden führen, da ihr Auftreten dem erfahrenen Diagnostiker bekannt ist. Umgekehrt können isolierte Subarachnoidalblutungen im 4. Ventrikel oder präpontin auf FLAIR-Aufnahmen aber leicht übersehen werden, wenn sie fälschlich als Artefakt gewertet werden. Durch die hier vorgestellte Protonendichte-gewichtete TSE-Sequenz war in unserem Kollektiv eine Unterscheidung zwischen Artefakt und SAB möglich. Dabei war in jedem der von uns untersuchten Fälle auch Blut an Orten vorhanden, an denen auf FLAIR-Aufnahmen typischerweise keine Artefakte auftreten. Daher wurden von beiden Untersuchern auch bei alleiniger Bewertung der FLAIR-Aufnahmen alle Subarachnoidalblutungen erkannt. Wir schließen aber aus unseren Ergebnissen, daß in Fällen einer umschriebenen SAB im Ventrikelsystem oder den basalen Zisternen der kombinierte Einsatz von FLAIR und PDW die diagnostische Treffsicherheit erhöht.

Die CT ist weiter als primäres diagnostisches Verfahren indiziert bei Verdacht auf akuter SAB. In der Akutsituation ist die MRT bei unklarem CT-Befund sinnvoll zur Sicherung der Diagnose vor einer Liquorpunktion oder Angiographie. In der subakuten Phase, etwa ab dem 5. Tag nach vermuteter SAB ist die MRT der CT in der Sensitivität eindeutig überlegen.

Literatur

1. Atlas SW (1993) **MR imaging is highly sensitive for acute subarachnoid hemorrhage... not!** Radiology 186:319–322
2. Bakshi R, Kamran S, Kinkel PR, Bates VE, Mechtler LL, Janardhan V, Belani SL, Kinkel WR (1999) **Fluid-attenuated inversion-recovery MR imaging in acute and subacute cerebral intraventricular hemorrhage.** AJNR Am J Neuroradiol 20:629–636
3. Chakeres DW, Bryan RN (1986) **Acute subarachnoid hemorrhage: In vitro comparison of magnetic resonance and computed tomography.** AJNR Am J Neuroradiol 7:223–228
4. Chrysikopoulos H, Papanikolaou N, Pappas J, Papandreou A, Roussakis A, Vassilouthis J, Andreou J (1996) **Acute subarachnoid haemorrhage: detection with magnetic resonance imaging.** Br J Radiol 69:601–609
5. Grossman RI, Kemp SS, Ip CY, Fishman JE, Gomori JM, Joseph PM, Asakura T (1986) **Importance of oxygenation in the appearance of acute subarachnoid hemorrhage on high field magnetic resonance imaging.** Acta Radiol 369 (Suppl):56–58
6. Jenkins A, Hadley DM, Teasdale GM, Condon B, Macpherson P, Patterson J (1988) **Magnetic resonance imaging of acute subarachnoid hemorrhage.** J Neurosurg 68:731–736
7. Kopsa W, Leitner H, Pernecky G, Tscholakoff D (1998) **MR imaging at 0.5 Tesla with the FLAIR sequence in the diagnosis of acute subarachnoid hemorrhage.** Fortschr Röntgenstr 169:355–359
8. Matsumura K, Matsuda M, Handa J, Todo G (1990) **Magnetic resonance imaging with aneurysmal subarachnoid hemorrhage: comparison with computed tomography scan.** Surg Neurol 34:71–78
9. Melhem ER, Jara H, Eustace S (1997) **Fluid-attenuated inversion recovery MR imaging: Identification of protein concentration thresholds for CSF hyperintensity.** AJR 1997:859–862
10. Noguchi K, Ogawa T, Inugami A, Toyoshima H, Okudera T, Uemura K (1994) **MR of acute subarachnoid hemorrhage: A preliminary report of fluid-attenuated inversion-recovery pulse sequences.** AJNR Am J Neuroradiol 15:1940–1943
11. Noguchi K, Ogawa T, Inugami A, Toyoshima H, Sugawara S, Hatazawa J, Fujita H, Shimosegawa E, Kanno I, Okudera T, Uemura K, Yasui N (1995) **Acute subarachnoid hemorrhage: MR imaging with fluid-attenuated inversion recovery pulse sequences.** Radiology 196:773–777
12. Noguchi K, Ogawa T, Seto H, Inugami A, Hadeishi H, Fujita H, Hatazawa J, Shimosegawa E, Okudera T, Uemura K (1997) **Subacute and chronic subarachnoid hemorrhage: diagnosis with fluid attenuated inversion-recovery MR imaging.** Neuroradiology 1997:257–262
13. Ogawa T, Inugami A, Shimosegawa E, Fujita H, Ito H, Toyoshima H, Sugawara S, Kanno I, Okudera T, Uemura K, Yasui N (1993) **Subarachnoid hemorrhage: evaluation with MR imaging.** Radiology 186:345–351
14. Ogawa T, Uemura K (1993) **MR imaging is highly sensitive for acute subarachnoid hemorrhage... not! Reply.** Radiology 186:323
15. Satoh S, Kadoya S (1988) **Magnetic resonance imaging of subarachnoid hemorrhage.** Neuroradiology 30:361–366
16. Scotti G, Ethier R, Melancon D, Terbrugge K, Tchang S (1980) **Computed tomography in the evaluation of intracranial aneurysms and subarachnoid hemorrhage.** Radiology 123:85–90
17. Singer MB, Atlas SW, Drayer BP (1998) **Subarachnoid space disease: Diagnosis with fluid-attenuated inversion-recovery MR imaging and comparison with Gadolinium-enhanced spin-echo MR imaging – blinded reader study.** Radiology 208:417–422
18. van Gijn J, van Dongen KJ (1982) **The time course of aneurysmal haemorrhage on computed tomography.** Neuroradiology 23:153–156
19. Weingarten K, Zimmermann RD, Deo-Narine V, Markisz J, Cahill PT, Deck MDF (1991) **MR imaging of acute intracranial hemorrhage: findings on sequential spin-echo and gradient-echo images in a dog model.** AJNR Am J Neuroradiol 12:457–467
20. Yoon HC, Lufkin RB, Vinuela F, Bentson J, Martin N, Wilson G (1988) **MR of acute subarachnoid hemorrhage.** AJNR Am J Neuroradiol 9:405–408