

Hans-Joachim Mentzel, Martin Stenzel, Jürgen R. Reichenbach

Suszeptibilitätsgewichtete MR-Bildgebung in der Pädiatrie

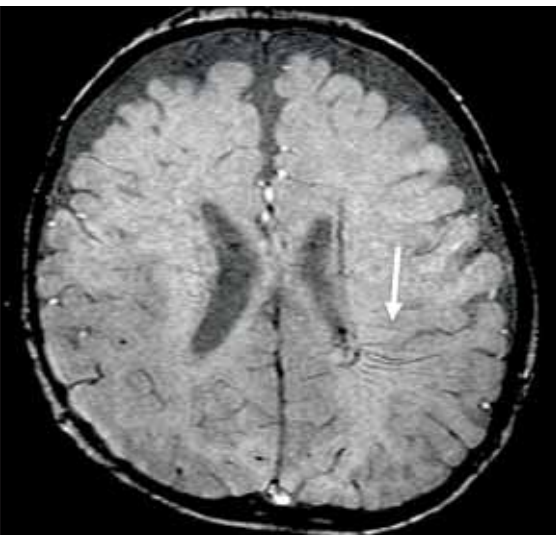
Die suszeptibilitätsgewichtete Bildgebung (susceptibility weighted imaging = SWI) verbindet die Magnituden- und die Phaseninformation einer räumlich hochaufgelösten 3D Gradientenechosequenz. Ursprünglich wurde diese Sequenztechnik als MR-Venographie zur Darstellung von venösen zerebralen Gefäßen entwickelt (Abbildung 1). Zugrunde liegt dieser Venographie-Technik der Suszeptibilitätsunterschied zwischen desoxygeniertem venösen Blut und dem umgebenden Gewebe. Mit der SWI können aber auch Suszeptibilitätsunterschiede beliebiger anderer Gewebestrukturen dargestellt werden, die bei der Charakterisierung von Läsionen hilfreich sein können.

Die Suszeptibilität ist eine Materialeigenschaft, welche die Fähigkeit einer Substanz zur Magnetisierbarkeit innerhalb eines externen Feldes beschreibt. Sie ist durch das Verhält-

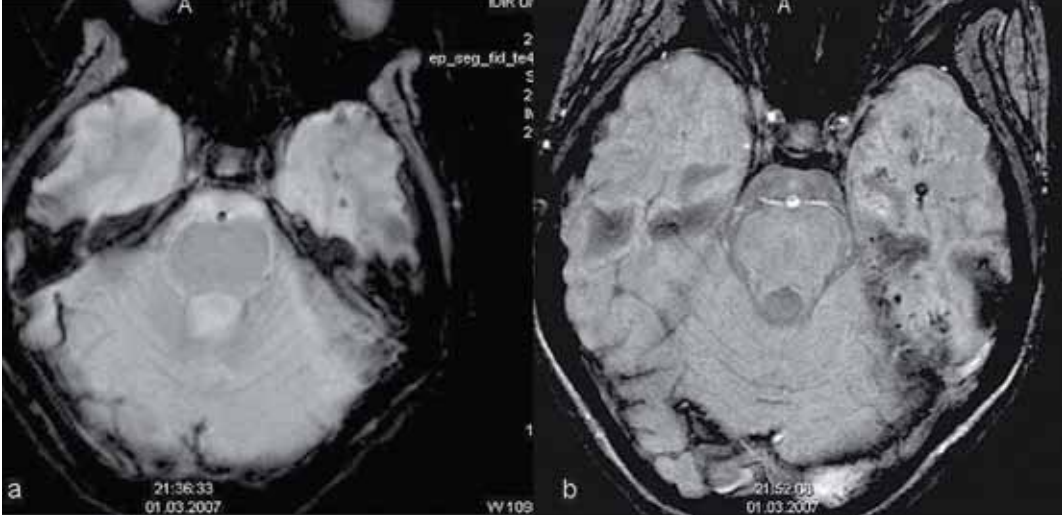
nis zwischen der zusätzlich resultierenden lokalen Magnetfeldstärke und der statischen magnetischen Feldstärke charakterisiert. Wenn die magnetische Suszeptibilität einer

Substanz positiv (= paramagnetisch) ist, dann resultiert eine durch die Substanz bedingte lokale Erhöhung des Magnetfeldes; ist die Suszeptibilität negativ (= diamagnetisch), resultiert ein lokal vermindertes Magnetfeld. Über die Analyse der Phasenbilder bezüglich der Frage der Art der Suszeptibilität liefert die SWI weitere Informationen über die Beschaffenheit der magnetisierbaren Substanzen, während im Magnitu-

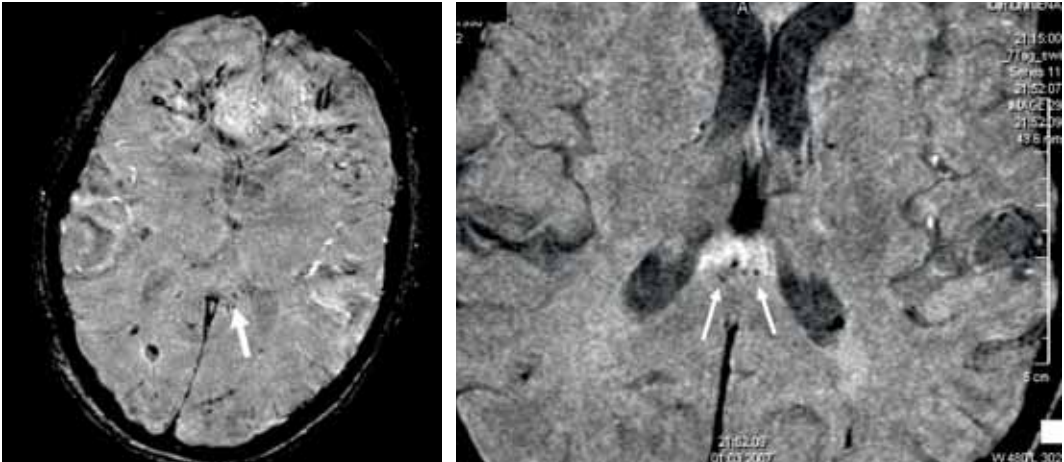
denbild lediglich der Signalverlust durch die Magnetfeldinhomogenität dargestellt wird. So kann die Analyse des Magnitudenbildes aufgrund der hohen Sensitivität zur raschen Beurteilung der Sequenz hinsichtlich Suszeptibilitätsunterschieden zu Hilfe gezogen werden. Die wichtigere Information zur Charakterisierung einer Substanz liefert aber das Phasenbild, das oftmals bei der Primärbeurteilung der SWI im klinischen Alltag in der Akutdiagnostik nicht zu Hilfe genommen wird. Im Magnitudenbild zeigen sich auch kleine Suszeptibilitätsunterschiede als Signalauslöschung. Die SWI hat dabei eine deutlich höhere Sensitivität im Vergleich zu den Standardsequenzen z. B. zum Nachweis von Hämorrhagien bei Schädel-Hirn-Traumata – dies gilt insbesondere für schädelbasierte Lokalisationen, da die SWI gegenüber den in der Routine eingesetzten Gradientenechosequenzen (GRE) deutlich weniger Artefakte aufweist. GRE-Sequenzen, die sich durch das Fehlen



■ Abb. 1: Sturge-Weber-Syndrom. Mit Hilfe der hochauflösenden SWI können unter Verwendung von Minimum-Intensitäts-Projektionen (mIP), die mehrere Schichten zusammenfassen, insbesondere die dilatierten intramedullären Venen dargestellt werden, über die die venöse Drainage nach Obliteration der kortikalen/pialen Venen erfolgt. So kann frühzeitig eine zerebrale Beteiligung bei diesem Syndrom nachgewiesen werden.



■ Abb. 2: Zustand nach Schädel-Hirn-Trauma. Die Abbildung zeigt die Vorteile der hochauflösenden SWI im Vergleich zur Standard-GRE-Sequenz: weniger Artefakte in Schädelbasisnähe und deutlich höhere Sensitivität. Die multiplen kleinen dunklen Läsionen entsprechen Einblutungen im Hirnparenchym, die mit der CT nicht nachweisbar waren. a: Standard-GRE-Sequenz (EPI), b: Hochauflösende SWI-Sequenz



■ Abb. 3a: (links) Schädel-Hirn-Trauma. Mit der SWI können Mikrohäorrhagien in Fällen diffus axonaler Schädigungen sensitiv detektiert werden. Der Pfeil markiert kleinste Einblutungen im hinteren Balkenabschnitt. Ausgedehnt disseminiert verteilte Mikrohäorrhagien lassen sich beidseits frontal nachweisen.

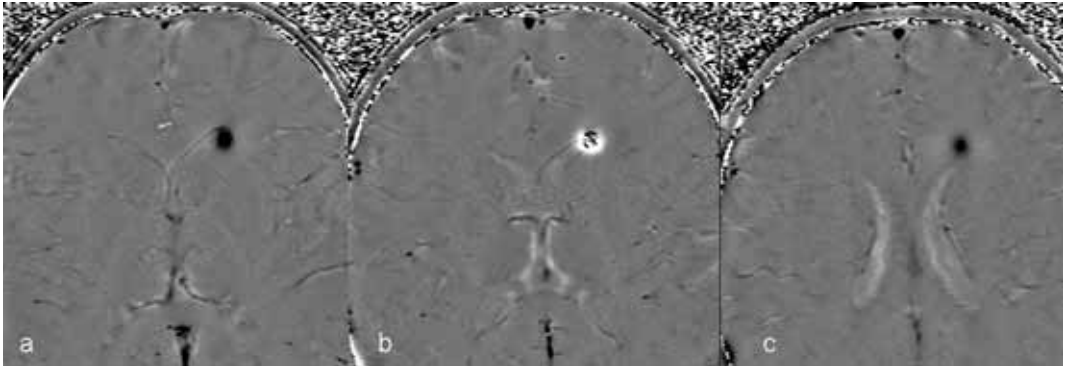
■ Abb. 3b: (rechts) Schädel-Hirn-Trauma. Das Magnitudenbild zeigt sensitiv die Mikrohäorrhagie im hinteren Balkenanteil bei einer Scherverletzung als signalarme Läsion an (Pfeile).

des 180° -Refokussierungspulses auszeichnen, zeigen Blutungsareale hypointens; einschränkend für die GRE-Sequenzen wirkt sich die niedrige örtliche Auflösung aus (Vorteil im Vergleich zur SWI ist aber die höhere zeitliche Auflösung); weitere

Probleme für die GRE ergeben sich im Bereich der Schädelbasis und der kalottennahen Hirnanteile durch die starken Suszeptibilitätsunterschiede zwischen Knochen und Luft, die zu ausgeprägten geometrischen Verzerrungen auf den Bildern führen.

Die SWI mit dem Magnitudenbild umgeht diese Einschränkung aufgrund ihrer hohen Ortsauflösung (Abbildung 2).

Der Vergleich zwischen SWI und GRE bei der Detektion von Mik-



■ *Abb. 4: Multiple Kavernome. Die hochauflösende SWI ist mit dem Magnitudenbild sehr sensitiv bei der Detektion von Kavernomen. Das Phasenbild zeigt den Dipolcharakter paramagnetischer Substanzen mit hellem Hof im Zentrum der Läsion, während am oberen und unteren Pol aufgrund einer Störung der Magnetisierung eine deutliche Signalmindering besteht.*

rohämorrhagien bei Kindern mit posttraumatisch diffuser axonaler Schädigung (DAI) in Studien zeigt eine signifikante Überlegenheit der SWI – ein Fakt, der prognostisch bei Fällen schwerer Schädel-Hirn-Traumata wegweisend ist (Abbildung 3).

Die Phasenbilder stellen zudem Karten von unterschiedlichen Resonanzfrequenzen dar, mit denen sich Läsionen unterschiedlicher magnetischer Suszeptibilität in typischer Weise darstellen lassen. Praktische Anwendung findet das heute schon zum Beispiel bei der Differenzierung zwischen verkalkten oder eingebluteten Tumorarealen. So imponieren paramagnetische Blutanteile wie ein kleiner magnetischer Dipol, der das lokale Magnetfeld stört und sich im Phasenbild an den Polen mit einer Minderung der Magnetisierung (Signalreduktion) dunkel darstellt, während im Zentrum die

Hämorrhagie signalreich imponiert, umgeben von einer ringartigen Signalreduktion (Abbildung 4). Bei Verkalkungen, die diamagnetische Eigenschaften aufweisen, stellt sich die Signalverteilung in umgekehrter Weise dar (Pole hell, Zentrum dunkel mit hellem Hof); diese Befundkonstellation ist allerdings feldstärken- und geräteabhängig. Das ist unbedingt zu berücksichtigen, wenn mit der hochauflösenden SWI Aussagen zum Phasenverhalten getroffen werden sollen – das trifft insbesondere dann zu, wenn die Sequenz erstmalig verwendet wird.

Die SWI gehört auch aufgrund ihrer langen Messzeit nicht zum Standarduntersuchungsprogramm in der Magnetresonanztomographie – allerdings wird sie zunehmend auch in der pädiatrischen Radiologie/Neuroradiologie Anwendung finden. Die Etablierung von Referenzwertkarten zur Beschreibung der Phasen-

verteilung im Hirn wird Gegenstand künftiger Forschung sein und möglicherweise auch zur weiteren Beurteilung von Stoffwechselerkrankungen und entzündlichen ZNS-Erkrankungen wie der Multiplen Sklerose (MS) genutzt werden können.

► Univ.-Prof. Dr. med. habil.
Hans-Joachim Mentzel
OA Dr. med. Martin Stenzel
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. med. habil.
Jürgen R. Reichenbach
Kinderradiologie
Medizinische Physik
Institut für Diagnostische
und Interventionelle Radiologie
Universitätsklinikum Jena
Erlanger Allee 101
D-07740 JENA