




# Neuroradiologie: neue diagnostische und interventionelle Entwicklungen

Christoph Stippich

Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie, Universitätsspital Basel

Die Neuroradiologie ist ein hochspezialisiertes und sehr dynamisches Teilgebiet der Radiologie, das über Diagnostik und Therapie von Erkrankungen des zentralen und des peripheren Nervensystems mit Hilfe modernster Bildgebungsmethoden intrinsisch mit den Partnerdisziplinen Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie in Klinik, Forschung und Lehre verbunden ist. Zugehörige Organe (Augen, Hör- und Gleichgewichtsorgan etc.) und umgebende Strukturen an Kopf, Hals, Wirbelsäule und Extremitäten gehören ebenso zum neuroradiologischen Spektrum. Psychologie, Neuro-, Natur- und Ingenieurwissenschaften sowie die Industrie sind wichtige Partner in Forschung und Entwicklung.

In diesem Artikel werden exemplarisch zwei neue Methoden der Magnetresonanztomographie (MRT) vorgestellt, mit denen die Struktur und die Funktion des Gehirns nichtinvasiv genau untersucht werden können, jeweils mit Bildbeispiel für wissenschaftliche (Abb. 1A ) und neue klinische Anwendungen (Abb. 1B ). Sie erweitern und ergänzen das diagnostische Portfolio der etablierten MR-Modalitäten, bestehend aus struktureller MR-Bildgebung, MR-Angiographie, Diffusions- und Perfusions-MRT sowie MR-Spektroskopie. Neueste Entwicklungen der interventionellen Neuroradiologie werden knapp umrissen und durch ein Bildbeispiel zur stentassistierten Coilembolisation zerebraler Aneurysmen veranschaulicht (Abb. 1C ).

## Neurofunktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)

Die gezielte neuronale Aktivierung führt zu erhöhtem Energie- und Sauerstoffbedarf in den funktionstragenden Hirngebieten (Kortex und subkortikale graue Substanz), verbunden mit einem Durchblutungsanstieg. Aufgrund der unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften von oxygeniertem (diamagnetisch) und deoxygeniertem Hämoglobin (paramagnetisch) können diese funktionsabhängigen lokalen Veränderungen der zerebralen Hämodynamik nichtinvasiv und ohne Kontrastmittelgabe gemessen werden (*blood oxygen level dependent* oder kurz *BOLD-fMRT*). Ort und Intensität der Hirnaktivierungen werden mathematisch modelliert. Die fMRT hat wesentlich zur rasanten Entwicklung der Neurowissenschaften in der letzten Dekade beigetragen (Abb. 1A), besonders der kognitiven Neurowissenschaften. Die etablierteste klinische Applikation ist die Lokalisation motorischer und sprachassoziierter Hirngebiete bei Patienten mit Hirntumoren mit dem Ziel,

eine möglichst radikale und funktionserhaltende Tumorbehandlung zu ermöglichen (Operation, Radio-/Chemotherapie) (Abb. 1B).

## Diffusions-Tensor-Imaging (DTI)

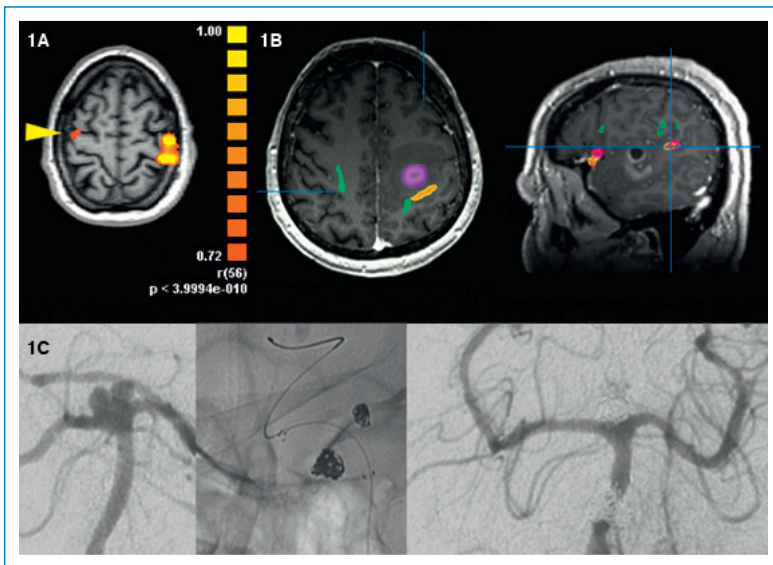
Myelinisierte Fasern bilden eine Diffusionsbarriere, weshalb die Brown'sche Molekularbewegung signalgebender Protonen bevorzugt entlang des Faserverlaufs und nicht perpendicular hierzu erfolgt. DTI basiert auf der Messung dieser gerichteten Diffusion mit ultraschnellen MR-Sequenzen. Werden mindestens sechs Richtungen im Raum gemessen, können die Vorzugsrichtung der Diffusion in jedem Bildvolumenelement (Voxel) bestimmt und der Verlauf der Faserbahnen im gesamten Bilddatensatz von Gehirn, Rückenmark oder peripheren Nerven mathematisch modelliert werden. Klinisch wird die «DTI-Traktographie» meist zur Darstellung der Pyramidenbahn, des Fasciculus arcuatus oder der Sehbahn vor neurochirurgischen Eingriffen eingesetzt, damit diese nicht beschädigt werden und keine bleibenden Funktionsausfälle (Motorik, Sprache, Sehen) durch die Therapie entstehen. Sinnvollerweise wird die DTI-Traktographie mit der fMRT kombiniert, die entsprechende funktionelle Hirngebiete abbildet (Abb. 1B). Mit der «fraktionalem Anisotropie (FA)» steht ein indirektes Mass für Myelinisierung zur Verfügung. Klinische Anwendungen bestehen unter anderem in der Erfassung degenerativer und entzündlich-demyelinisierender Prozesse.

## Interventionelle Neuroradiologie

Schwerpunkt der neuroradiologischen Therapie ist die endovaskuläre Behandlung zerebraler und spinaler Gefässerkrankungen mit verschiedensten Mikrokatheter-techniken (extra- und intrakranielles Stenting, Embolisationen mit Platinspiralen [Coils], Partikeln oder Flüssig-embolisaten, pharmakologische und/oder mechanische Thrombolyse bzw. Revaskularisationen etc.). Die Entwicklung neuer Produkte ist äusserst dynamisch und erschliesst immer weitreichendere Möglichkeiten, zerebrovaskuläre Erkrankungen minimalinvasiv effizient zu behandeln. Prospektive multizentrische Studien belegen, dass die Coilembolisation eine komplikationsärmere Behandlungsalternative zur Operation (Clipping) zerebraler Aneurysmen darstellt, allerdings verbunden mit einem höheren Risiko für eine Aneurysma-Reperfusion oder Rezidivblutung (ISAT-Studie). Auch breitbasige Aneurysmen können mit zusätzlichen Protektionsballons (Re-



Christoph Stippich



**Abbildung 1**

**A** Neurowissenschaftliche fMRT. Nachweis somatotoper Koaktivierung des rechten Motorkortex bei Bewegung der ipsilateralen rechten Hand (gelber Pfeil) als Hinweis auf eine zwischen Inhibition und Exzitation balancierte Aktivierung des gesamten primären Motorkortex beider Hirnhälften bei Ausführung unilateraler Willkürbewegungen. Die starke kontralaterale Aktivierung in der linken Hirnhälfte treibt die Fingerbewegungen der rechten Hand (Stippich C, et al. Neuroimage. 2007;34:1227–37).

**B** Klinische fMRT- und DTI-Diagnostik. Links: Prächirurgische Darstellung des motorischen Handareals (gelb) und der verlagerten Pyramidenbahn (grün) bei links präzentralem Glioblastom (violett, Tumor segmentiert). Rechts: Räumlich kongruente funktionelle Lokalisation der Broca- und Wernicke-Sprachzentren mit vier verschiedenen Sprachparadigmen (gelb, orange, pink, rot) bei Glioblastom des linken Gyrus temporalis superior (klassisches Wernicke-Sprachareal). Anschnitte des Fasciculus arcuatus (grün) (Stippich C [Editor], Clinical functional MRI: Presurgical functional Neuroimaging, Springer Verlag; 2007).

**C** Stentassistierte Coilembolisation eines bilobären Basilarisspitzen-Aneurysmas. Präinterventionelle DSA (links). Fluoroskopisches Bild mit Darstellung der distalen Stentmarker in der rechten A. cerebri posterior und der proximalen Stentmarker in der distalen A. basilaris. Coilpaket im linken Anteil des Aneurysmadoms. Beachte auch das sich kaudal projizierende und bereits vorher versorgte Aneurysma der A. communicans anterior (Mitte). Behandlungsergebnis mit vollständig endovaskulär ausgeschaltetem Aneurysma (rechts).

modelling-Technik) oder stentassistiert behandelt werden. Neuartige, sehr dichte Stents (Flowdiverter) reduzieren den Fluss im Aneurysma und werden derzeit für die Behandlung breitbasiger und fusiformer Aneurysmen erprobt. Intrakranielle Stents werden häufig im Rahmen der Revaskularisierung bei Gefäßstribosen auf dem Boden vorbestehender Gefässengen (Stenosen) eingesetzt, in Verbindung mit einer intraarteriellen pharmakologischen und/oder mechanischen Thrombolyse. Der Stellenwert der primären Behandlung intrakranieller Gefässstribosen mit Stents kann derzeit noch nicht zuverlässig beurteilt werden, vor allem aufgrund der unzureichenden Datenlage hinsichtlich der Langzeitergebnisse. Das Stenting extrakranieller Stenosen der Arteria carotis scheint im Vergleich zur operativen Behandlung (Endarterektomie) allenfalls gleichwertig zu sein, wenn auch weniger invasiv. Verbesserungen der endovaskulären Behandlungsergebnisse sind hier vor allem durch technische Weiterentwicklung und neue Materialien zu erwarten. Durale arteriovenöse Fisteln können transarteriell und/oder transvenös embolisiert werden. Zerebrale und spinale arteriovenöse Malformationen müssen oft fraktioniert embolisiert werden. Häufig werden sie in Kombination mit einer Operation oder Strahlentherapie behandelt.

Die bildgesteuerte minimalinvasive Behandlung (CT, Fluoroskopie) von Schmerzen an Spinalnerven, Facettengelenken und Iliosakralfugen durch gezielte lokale Instillation von Analgetika und Antiphlogistika gehört ebenso zum Spektrum der interventionellen Neuroradiologie wie die Vertebro- oder Kyphoplastie und Biopsien vor allem an der Wirbelsäule. Experimentelle Ansätze widmen sich MR-gesteuerten Neurointerventionen.

**Korrespondenz:**

Prof. Christoph Stippich  
Abteilungsleiter  
Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie  
Universitätsspital Basel  
CH-4031 Basel  
[cstippich@uhbs.ch](mailto:cstippich@uhbs.ch)