

Dominik Weishaupt · Victor D. Köchli · Borut Marincek

Wie funktioniert MRI ?

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Dominik Weishaupt
Victor D. Köchli
Borut Marincek

Wie funktioniert MRI ?

Eine Einführung
in Physik und Funktionsweise
der Magnetresonanztomographie

Dritte, völlig überarbeitete Auflage

Mit 40 Abbildungen und 7 Tabellen



Springer

DR. DOMINIK WEISHAUPT
Oberarzt
Institut für Diagnostische Radiologie
Universitätsspital
Rämistrasse 100
CH-8091 Zürich
Tel. 00 41 1 255 30 59
Fax. 00 41 1 255 44 43
E-Mail: dominik.weishaupt@dmr.usz.ch

DR. VICTOR D. KÖCHLI
Oberassistent
Medizinische Informatik
Departement Innere Medizin
Universitätsspital
Rämistrasse 100
CH-8091 Zürich
Tel. 00 41 1 255 33 98
E-Mail: victor.koechli@dim.usz.ch

PROFESSOR BORUT MARINCEK
Institutsdirektor
Institut für Diagnostische Radiologie
Universitätsspital
Rämistrasse 100
CH-8091 Zürich
Tel. 00 41 1 255 29 00
Fax. 00 41 1 255 44 43
E-Mail: borut.marincek@dmr.usz.ch

ISBN 978-3-540-41628-9

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme
Weishaupt, Dominik:

Wie funktioniert MRI? : eine Einführung in Physik und Funktionsweise der Magnetresonanzbildgebung /
Dominik Weishaupt ; Victor Köchli ; Borut Marincek. - 3., völlig überarb. Aufl.

2. Aufl. u.d.T.: Köchli, Victor D.: Wie funktioniert MRI?
ISBN 978-3-540-41628-9 ISBN 978-3-662-10937-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-10937-3

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

<http://www.springer.de>

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1994, 1998, 2001

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2001

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Umschlaggestaltung: E. Kirchner, Heidelberg

Herstellung und Satzarbeiten: Isolde Gundermann, Heidelberg

Druck auf säurefreiem Papier SPIN: 10794805 21/3130/is - 5 4 3 2 1 0

Vorwort zur 3. Auflage

Nach zwei erfolgreichen Auflagen ist dies schon die dritte Auflage von „Wie funktioniert MRI? – Eine Einführung in Physik und Funktionsweise der Magnetresonanzbildgebung“. Die positive Aufnahme dieses Buches hat uns veranlasst, das Buch neu zu bearbeiten. In der vorliegenden Auflage haben wir versucht, den vielen Hinweisen und Anregungen, welche wir bekommen haben, Rechnung zu tragen, um dem Ziel, dem Leser eine einfache, strukturierte und verständliche Einführung in die komplexe Materie der Magnetresonanztomographie zu bieten. Alle Kapitel wurden überarbeitet und auf den neuesten Stand der Wissens gebracht. Neu finden sich nun auch Kapitel über „Determinanten des Signal-zu-Rausch-Verhältnis“ und zum Thema „Sicherheit und Risiken“.

Der zunehmenden Bedeutung des MRI in der nichtinvasiven Gefäßdiagnostik wird mit einem speziellen Kapitel Rechnung getragen. Die Kapitel über MR-Sequenzen wurde ebenfalls neu gegliedert, um der Entwicklung zu immer schnelleren Sequenzen gerecht zu werden.

Die dritte Auflage wäre ohne die Unterstützung aus den Gesprächen mit vielen MR-Interessierten nicht zustande gekommen. Für einen Teil der Abbildungen sind wir besonders Herrn Ninoslav Teodorovic zu Dank verpflichtet. Dr. Daniel Nanz danken wir für die kritische Durchsicht des Manuskriptes. Dem Springer Verlag danken wir für die erneut gute Zusammenarbeit.

Wir hoffen, dass diese dritte Auflage für möglichst viele MR-Interessierte eine nützliche Einführung in diese faszinierende Schnittbildgebungsmethode sein wird und wünschen uns, dass sie dazu beiträgt, die nicht immer einfach verständlichen physikalischen Grundlagen der Methode allen „Nicht-Physikern“ näher zu bringen.

Zürich, Januar 2001

Dominik Weishaupt
Victor D. Köchli
Borut Marinček

Vorwort zur 2. Auflage

Das positive Echo und die anhaltende Nachfrage haben uns bewogen, die vorliegende MRI-Einführung erneut aufzulegen. Seit der ersten Auflage sind verschiedene neue Techniken verfügbar geworden, und die schnellen Spin-Echo- und Gradientenecho-Sequenzen haben sich einen festen Platz in der klinischen Routine erobert.

Am wichtigsten aber ist sicherlich die Entwicklung im Bereich der MR-Angiographie. Wir sind daher besonders dankbar, dass das Angiographie-Kapitel von Jörg F. Debatin kompetent überarbeitet und ergänzt wurde.

Wir hoffen, dass dieses Buch auch in der zweiten Auflage möglichst vielen MR-Interessierten einen guten Start in diese faszinierende Technologie ermöglicht, die uns auch in Zukunft mit immer neuen Anwendungsmöglichkeiten überraschen wird.

Zürich, Dezember 1997

Victor D. Köchli
Borut Marincek

Vorwort zur 1. Auflage

Wie funktioniert eigentlich MRI? Diese Frage wird so oft gestellt, daß wir uns entschlossen haben, unser Modell von der Funktionsweise dieser faszinierenden und zukunftsweisenden Methode zusammenzufassen.

Modell, notabene, denn in Tat und Wahrheit sind die physikalischen und technischen Hintergründe viel komplizierter, als wir sie hier darstellen. Aber dieses Skript richtet sich auch nicht an Physikerinnen und Physiker, sondern an all diejenigen, die sich für MRI interessieren, regelmäßig damit zu tun haben oder einfach sonst genauer wissen möchten, was hinter MRI steckt, also z. B. an Ärztinnen und Ärzte, MTRAS, Studentinnen und Studenten. Das Ziel ist deshalb nicht eine fundierte und exakte Abhandlung aller physikalischen Zusammenhänge und Formeln, sondern eine (hoffentlich) verständliche Einführung in die Prinzipien der MR-Bildgebung.

Insbesondere werden (hoffentlich!) alle wichtigen Begriffe behandelt, die auch in der klinischen Anwendung von Bedeutung sind, und es wird versucht, die zugrunde liegenden physikalischen Vorgänge verständlich zu machen. Es geht also trotz allem nicht ohne ein bißchen Physik!

Wir danken allen, die uns bei der Verbesserung dieses Skripts mit Rat und Kritik geholfen haben. Besonderer Dank gebührt an dieser Stelle Herrn Constantin von Weymarn, der bei der Überarbeitung des Skripts geholfen und die physikalischen Grundlagen abgesichert hat. Außerdem danken wir Herrn Johannes Fröhlich von der Firma Guerbet für seine zahlreichen konstruktiven Anregungen. Wir sind auch in Zukunft froh um jede Kritik, die uns ermöglicht, diese Einführung zu verbessern, damit sie ihr Ziel erreichen kann.

Zürich, Sommer 1994

Victor D. Köchli
Borut Marincek

Inhaltsverzeichnis

Spins und das MR-Phänomen	1
Relaxation	7
T1: Longitudinale Relaxation	7
T2/T2*: Transversale Relaxation	8
Bildkontrast	11
Repetitionszeit TR und die T1-Gewichtung	12
Echozeit TE und die T2-Gewichtung	14
Sättigung bei kurzer Repetitionszeit	17
Pulswinkel („Flip Angle“)	18
Vorsättigung („Presaturation“)	18
Magnetisierungs-Transfer	19
Schichtwahl und Ortskodierung	21
3-Dimensionale Ortskodierung	27
Der K-Raum	28
Determinanten des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses	31
Pixel, Voxel, Matrix	32
Schichtdicke und Bandbreite	33
Field-of-View und Matrix	35
Anzahl der Messungen	40
Bildparameter	40
Magnetfeldstärke	40
Spulen	41

Aufbau eines MR-Tomographen	45
Magnet	47
Gradientensystem	48
Hochfrequenzsystem	49
Computer	50
Basis Puls-Sequenzen	51
Spin-Echo-Sequenz (SE)	52
Outflow-Effekt	54
Mehrschichtaufnahme („Multislice Imaging“)	54
Inversion Recovery-Sequenz	55
STIR-Sequenz (Short TI Inversion Recovery)	57
Gradientenecho-Sequenz	58
Mehrfache Echos (Multi-Echo-Sequenzen)	60
Schnelle Puls-Sequenzen	63
Schnelle (Fast) oder Turbo Spin Echo Sequenzen	63
Single Shot Fast oder Turbo Spin Echo Sequenz	65
Schnelle (Fast) oder Turbo Inversion Recovery Sequenzen	66
Schnelle Gradientenecho-Sequenzen	66
Echoplanare (EPI) Sequenz	67
Hybridsequenzen	68
GRASE (Gradient and Spin Echo)	68
Spiral Sequenzen	69
Echozeit und T2-Kontrast in schnellen Sequenzen	69
Techniken zur Darstellung des Gefäß-Systems	71
Time-of-Flight-Angiographie	72
Phasenkontrast-Angiographie	75
Kontrastmittelverstärkte 3D MR-Angiographie	76
Perfusion und Diffusion	79
MR Kontrastmittel	81

Artefakte im MR-Bild	89
Bewegungs- und Flußartefakte	89
Phase Wrapping	91
Chemical Shift	93
Suszeptibilität	94
Sicherheit und Risiken	97
Kontraindikationen	98
Glossar	101
Sachverzeichnis	113

In diesem Skript werden wiederholt die Begriffe „Z-Richtung“ und „XY-Ebene“ auftauchen. In allen Abbildungen verläuft das äußere Magnetfeld B_0 von unten nach oben, und wir bezeichnen diese Richtung als Z. Die beiden anderen Dimensionen sind X und Y. Die XY-Ebene steht senkrecht auf der Z-Achse und liegt somit in unseren Abbildungen horizontal.

