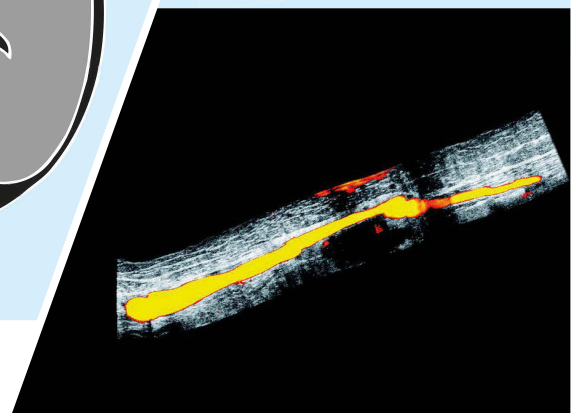
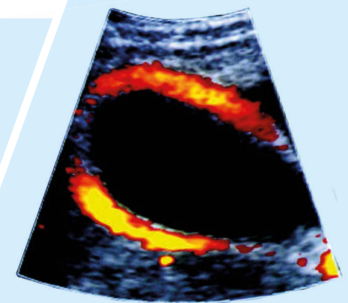
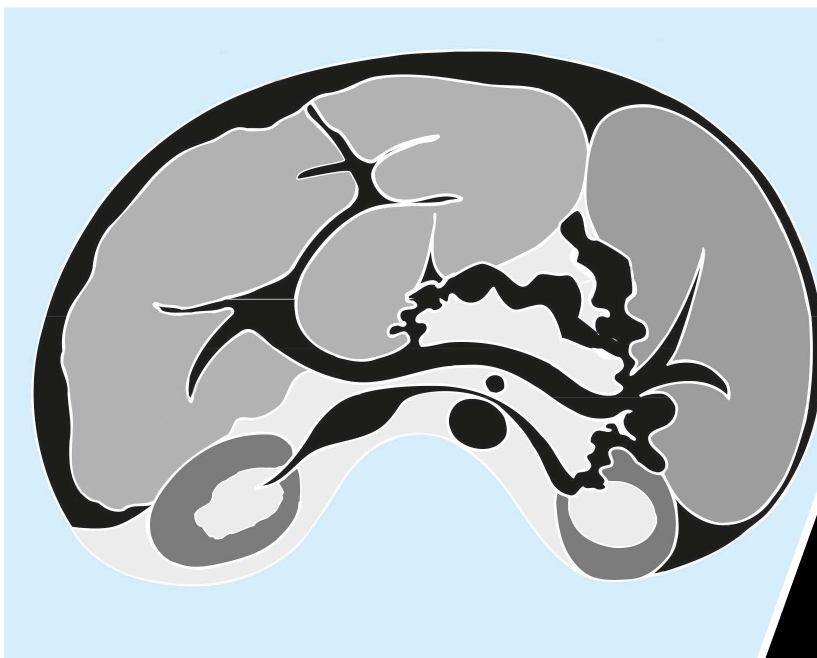


C.F. Dietrich (Hrsg.)

Ultraschall-Kurs

Organbezogene Darstellung von Grund- und Aufbaukurs sowie weiterführender Module (Postgraduierten-Kurse)

Nach den Richtlinien von KBV, DEGUM, ÖGUM und SGUM



C.F. Dietrich (Hrsg.)
Ultraschall-Kurs

C.F. Dietrich (Hrsg.)

Ultraschall-Kurs

Organbezogene Darstellung von Grund- und Aufbaukurs sowie weiterführender Module (Postgraduierten-Kurse)

Nach den Richtlinien von KBV, DEGUM, ÖGUM und SGUM

Mit Beiträgen von O. Ackermann, F. Bär, A.-P. Barreiros, B. Braden, C.F. Dietrich, H. Frey, C. Görg, C. Greis, N. Gritzmann, M. Heitz, M. Hocke, A. Hollerweger, R. Horn, A. Ignee, C. Jenssen, G. von Klinggräff, G. Lesnik, G. Lock, S. Morf, D. Nürnberg, H. Reinwald, G. Schüßler, C. Trenker, J. Tuma und H. Weiss

Mit Fragen-Antwort-Katalog, 47 Tabellen, über 2000 Abbildungen und mehr als 100 Videos

ISBN (eBook): 978-3-7691-3715-6

aerzteverlag.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://portal.dnb.de> abrufbar.

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

Wichtiger Hinweis:

Die Medizin und das Gesundheitswesen unterliegen einem fortwährenden Entwicklungsprozess, sodass alle Angaben immer nur dem Wissensstand zum Zeitpunkt der Drucklegung entsprechen können. Die angegebenen Empfehlungen wurden von Verfassern und Verlag mit größtmöglicher Sorgfalt erarbeitet und geprüft. Trotz sorgfältiger Manuskripterstellung und Korrektur des Satzes können Fehler nicht ausgeschlossen werden.

Der Benutzer ist aufgefordert, zur Auswahl sowie Dosierung von Medikamenten die Beipackzettel und Fachinformationen der Hersteller zur Kontrolle heranzuziehen und im Zweifelsfall einen Spezialisten zu konsultieren.

Der Benutzer selbst bleibt verantwortlich für jede diagnostische und therapeutische Applikation, Medikation und Dosierung.

Verfasser und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und keine daraus folgende oder sonstige Haftung für Schäden, die auf irgendeine Art aus der Benutzung der in dem Werk enthaltenen Informationen oder Teilen davon entstehen.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf deshalb der vorherigen schriftlichen Genehmigung des Verlages.

Copyright © 2021 by Deutscher Ärzteverlag
Dieselstraße 2, 50859 Köln

Umschlagkonzeption: Deutscher Ärzteverlag
Produktmanagement: Marie-Luise Bertram
Content Management: Alessandra Provenzano
Manuskriptbearbeitung: Dr. Doortje Cramer-Scharnagl
Satz: Plaumann, 47807 Krefeld

5 4 3 2 1 0 / 614

Danksagung

Die Herstellung wurde in schöpferischer Arbeitsgemeinschaft mit dem Lektorat des Deutschen Ärzteverlags vorgenommen. Die Zusammenarbeit mit Marie-Luise Bertram, Alessandra Provenzano, Dr. Doortje Cramer-Scharnagl und Christian Ruhmann war vorzüglich.

Die Falk Foundation hat mit großem Engagement die Voraussetzungen für die Lehrvideos unserer Online-Seite geschaffen. Besonderer Dank gilt hier Herrn Dr. Strünkelnberg, Frau Steinberger, Frau Tesanovic, Frau Glatz und Frau Zbinden danke ich herzlich für das perfekt organisierte Sekretariat und ihre immerwährende Hilfe früher in Bad Mergentheim und jetzt in Bern.

Gedankt sei den früheren Ko-Autoren, deren Kapitel durch ihren Einsatz geprägt wurden. Namentlich nennen möchte ich hier Gert Hetzel, Dr. Jörg Bönhof und

Dr. Bruno Stelzel, deren „Handschrift“ und Stil noch heute erkennbar ist.

Gedankt ist meinen früheren und aktuellen Kolleginnen und Kollegen, Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in Frankfurt, Bad Mergentheim und jetzt in Bern. Ein besonderer Dank gilt auch den Winterschülern, die jährlich seit 2005 den praktischen Ultraschall-Kurs mitgestaltet haben, sei es durch Lehrvideos, Optimierungen der Geräteeinstellungen („Knöpfologie“) oder auch einfach nur durch Rat und Tat sowie gute Laune.

Ein herzliches Dankeschön erfolgt auch an das Bad Mergentheimer Leberzentrum e.V., das mir seit vielen Jahren Computertechnik und Stipendien zur Verfügung stellt.

Herausgeber- und Autorenverzeichnis

Herausgeber

Prof. Dr. med. Christoph F. Dietrich
Kliniken Hirslanden Bern
Beau-Site, Salem und Permanence
CH-3013/CH-3018 Bern

Autoren

PD Dr. med. Ole Ackermann
Ruhr-Universität Bochum
Raiffeisenstraße 58–60
D-47259 Duisburg

Dr. med. Frances Bär
Wertachklinik Bobingen
Abteilung Innere Medizin
Wertachstraße 55
86399 Bobingen

PD Dr. med. Ana-Paula Barreiros
Deutsche Stiftung Organtransplantation – Region Mitte
Organisationszentrale
Haifa-Allee 2
D-55128 Mainz

Prof. Dr. med. Barbara Braden
Gastroenterology Unit
John Radcliffe Hospital
Headley Way
GB-OX3 9DU Oxford

Dipl.-Ing. Holger Frey
Mozartstraße 69
D-89551 Königsbronn

Prof. Dr. med. Christian Görg
Klinik für Innere Medizin, Schwerpunkt Hämatologie,
Onkologie und Immunologie
Philipps-Universität Marburg
Baldingerstraße
D-30543 Marburg

Dr. rer. nat. Christian Greis
Bracco Imaging Deutschland GmbH
Max-Stromeyer-Straße 116
D-78467 Konstanz

Univ.-Prof. Dr. Norbert Gritzmann
SONOSEMINARE
Valeriestraße 7/1/1
A-2500 Baden bei Wien

Dr. med. Matthias Heitz
Urologische Praxisgemeinschaft Hamburg-Blankenese
Blankeneser Bahnhofstraße 15
D-22587 Hamburg

PD Dr. med. Michael Hocke
Medizinische Klinik 2
Klinikum Meiningen GmbH
Bergstraße 3
D-98617 Meiningen

Dr. med. Alois Hollerweger
Krankenhaus der Barmherzigen Brüder
Kajetanerplatz 1
A-5010 Salzburg

Dr. med. Rudolf Horn
Center da sandà Val Müstair
Sielva 122
CH-7536 Sta. Maria

PD Dr. med. André Ignee
Medizinische Klinik 2
Caritas-Krankenhaus
Uhlandstraße 7
D-97980 Bad Mergentheim

Dr. med. Christian Jenssen
Abteilung für Innere Medizin
Krankenhaus Märkisch-Oberland GmbH
Sonnenburger Weg 11
D-16269 Wriezen

Dr. med. Gotthard von Klinggräff
Abteilung für Diagnostische und Interventionelle
Radiologie
Asklepios Klinik Harburg
Eißendorfer Pferdeweg 52
D-21075 Hamburg

MedR Dr. med. Gerald Lesnik
Institut für Diagnostische und Interventionelle
Radiologie
Klinikum Klagenfurt am Wörthersee
Feschnigstraße 11
A-9020 Klagenfurt

Prof. Dr. med. Guntram Lock
Klinik für Innere Medizin
Albertinen-Krankenhaus
Süntelstraße 11a
D-22457 Hamburg

Dr. med. Susanne Morf
Center da sandà Val Müstair
Sielva 122
CH-7536 Sta. Maria

Prof. Dr. med. Dieter Nürnberg
Institut Klinischer Ultraschall
Medizinische Hochschule Brandenburg
Fehrbelliner Straße 38
D-16816 Neuruppin

Dr. med. Helmut Reinwald
Innere Medizin
Kreiskrankenhaus Tauberbischofsheim
Albert-Schweitzer-Straße 37
D-97941 Tauberbischofsheim

Gudrun Schüßler
Medizinische Klinik 1
Caritas-Krankenhaus
Uhlandstraße 7
D-97980 Bad Mergentheim

Dr. med. Corinna Trenker
Klinik für Innere Medizin, Schwerpunkt Hämatologie,
Onkologie und Immunologie
Philipps-Universität Marburg
Baldingerstraße
D-30543 Marburg

PD Dr. med. Jan Tuma
Institut für Allgemeine Innere Medizin und
Nephrologie
Klinik Hirslanden
Witellikerstraße 40
CH-8032 Zürich

Prof. Dr. Hagen Weiss
Belchenstraße 37
D-68163 Mannheim

Vorwort

Die hier präsentierte 7. Auflage des Titels „Ultraschall-Kurs“ wurde zuerst 1984 aufgelegt und hat über mehr als 35 Jahre die Ultraschallausbildung im deutschsprachigen Raum geprägt. Dem Begründer Ulrich Meckler, seinem Gründungsteam unter besonderer Würdigung meines akademischen Lehrers Prof. Dr. Wolfgang Caspary sowie den gestaltenden Generationen von Autoren und den Rückmeldungen der geneigten Leser ist der Erfolg dieses Buches gedankt. Mitautoren wurden zu Freunden.

Die 7. Auflage umfasst das Spektrum der internistischen, chirurgischen und urologischen Sonografie (inkl. Urogenitaltrakt und Hoden) mit Berücksichtigung des nicht kardiologischen Thorax (Lunge und Mediastinum sowie Kopf-Hals-Region und Schilddrüse). Das Buch richtet sich somit an sonografische Generalisten in Allgemeinmedizin, Innerer Medizin, Chirurgie, Radiologie und Urologie, die über das engere Fach eine umfassendere Darstellung wünschen.

Was ist neu? Neu ist ein größeres Buchformat. Neu sind auch eine Vielzahl von didaktisch konzipierten und bewährten Lehrvideos mit Darstellung der Untersuchungstechnik (Patientenlagerung, Gerätebedienung, Schallkopfführung). Die detaillierte Beschreibung der Anatomie ist Kernelement der Videos. Die Notfallsonografie am Ort des Geschehens (Point of Care) bereichert die aktuelle Auflage dieses Kursbuches und nimmt einen zentralen Platz ein. Erläutert werden in diesen Kapiteln die Basisnotfallsonografie inklusive beispielsweise E-FAST, fokussierter kardialer Ultraschall, Lungensonografie im Notfall und der fokussierte Ultraschall am Bewegungsapparat. Neu ist auch das Kapitel der Dopplersonografie peripherer Arterien. Jedem Kapitel sind Fragen zur Überprüfung des Lernerfolges beigelegt.

Dem Herausgeber ist bewusst, dass einzelne Kapitel (insbesondere Gynäkologie und Urologie) nur eine Einführung in die Thematik darstellen, die dem generalistisch tätigen Arzt (Ärztin) einen reizvollen Einblick geben soll. Im Übrigen wird auf die gängigen Ultraschallkursbücher der Gynäkologie und Urologie verwiesen.

Die DEGUM (Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin), SGUM (Schweizerische Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin) und ÖGUM (Österreichische Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin) haben sich schon viele Jahre bemüht, die Untersuchungsvorausset-

zungen und Qualitätsstandards den Anforderungen unserer Zeit anzupassen. In dem vorliegenden Kursbuch nach den Richtlinien der drei Gesellschaften werden die nur historisch zu verstehenden Schranken der verschiedenen sonografischen Techniken überwunden, ohne die zentrale Bedeutung der B-Bild-Sonografie für den Grund- und Aufbaukurs sowie die Module/Refresher-Kurse zu vernachlässigen. Die im unmittelbaren Kontext ergänzten Farb-, Powerdoppler- und Kontrastmitteltechniken sowie die Elastografie sollen das Verständnis für die Körperarchitektur verbessern und die Faszination für die Methode in ihren vielfältigen Möglichkeiten wecken.

Das Buch ist in enger Zusammenarbeit mit der SGUM und der ÖGUM entstanden. Die Mitautoren aus der Schweiz und Österreich tragen wesentlich zum Erfolg des Buches bei und haben die Neuauflage geprägt. Ein besonderer Dank gilt Jan Tuma, der für die Übersetzung des Kursbuches in die tschechische Sprache gesorgt hat. Das Kursbuch wurde auch in das Polnische übersetzt.

Wir haben erneut eine knappe und präzise Darstellung angestrebt, ohne von seltenen, aber typischen Befunden abzusehen. Der klinische Stellenwert sonografischer Befunde wurde besonders hervorgehoben. Der Bildteil wurde in den Text integriert und enthält typische und häufige Befunde. Im Anschluss an jedes Kapitel ist eine kleine Auswahl diesem Kursbuch zugrundeliegender und weiterführender Literatur angefügt.

Durch die Optimierung der konventionellen Sonografie und Einführung der Kontrastmittelsonografie und Elastografie müssen die Anforderungen an ein Ultraschallkursbuch neu geordnet werden. Klassischerweise wurde in den Grund- und Aufbaukursen sowie den Modulen/Refresher-Kursen weitestgehend nur die B-Bild-Sonografie abgehandelt und die Farbdopplersonografie als eigenständige Technik im Kursablauf nicht immer integriert, sondern erst nach Abschluss der jeweiligen Kurse gelehrt. Unberücksichtigt bleibt hierbei allerdings, dass diese Trennung zwischen konventioneller B-Bild-Sonografie und gefäßdarstellenden Techniken eine künstliche Grenze ist und somit nur historisch zu verstehen ist.

In der Computer- und Magnetresonanztomografie wurden kontrastverstärkte Techniken zunächst skeptisch gesehen und vielerorts kategorisch abgelehnt.

Heute dagegen gelten CT- oder MRT-Schnittbildtechniken ohne Kontrastmittelanwendung in den meisten Fällen als inadäquat. Analog zu diesen sekundären Schnittbildtechniken wird auch im Ultraschall durch Kontrastmittel (Echosignalverstärker) der Kontrast zwischen Leberparenchym und Tumoren verbessert, was zu einer optimierten Ermittlung und Charakterisierung benigner und maligner fokaler Läsionen führt. Die Anwendung von Ultraschallkontrastmitteln hat sich in den letzten 20 Jahren etabliert und wurde in entsprechende Empfehlungen und Leitlinien inkorporiert. Eine besondere Bedeutung haben hierbei die Leitlinien der European Federation of Societies for Ultrasound in Me-

dicine and Biology (EFSUMB) und World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology (WFUMB).

Elastografische Techniken haben sich im routinemäßigen Alltag etabliert und werden anhand evidenzbasierter EFSUMB- und WFUMB-Leitlinien praxisnah dargestellt.

Unsere Leser möchte ich weiterhin bitten, durch Anregungen und Kritik das Buch in Zukunft mitzugestalten und freuen uns auf Rückmeldungen.

Christoph F. Dietrich
Bern, August 2020

Inhaltsverzeichnis

Geschichte und Entwicklung der Ultraschalldiagnostik	1
<i>Hagen Weiss</i>	
1 Grundlagen	5
<i>Christoph F. Dietrich, Holger Frey, Christian Greis</i>	
Einleitung	5
Schwingung, Schallwelle	5
Ultraschallerzeugung	6
Physikalische Effekte	6
Reflexion und Brechung – 6	
Streuung – 6	
Interferenz – 6	
Absorption – 6	
Bildaufbauverfahren	7
Impuls-Echo-Verfahren – 7	
Time gain control (Tiefenselektive Verstärkung) – 7	
A-Mode – 7	
B-Mode – 7	
M-Mode – 8	
Schallfeld	8
Auflösungsvermögen – 8	
Fokussierung – 9	
Kontrastauflösung und zeitliche Auflösung – 9	
Scanverfahren	10
Funktionsprinzip – 10	
Linear array – 10	
Curved oder Convex array – 10	
Sektorscanner – 11	
Phased array – 11	
Bildoptimierung – 11	
Ultraschallartefakte	12
Schallschatten – 12	
Distale Schallverstärkung – 12	
Randschatten – 13	
Nebenkeulenartefakt – 13	
Reverberationsartefakt – 13	
Geometrische Verzeichnung – 14	
Spiegelartefakt – 14	
Dopplersonografie – physikalische Grundlagen	14
Dopplersonografie – theoretischer Hintergrund – 14	
Technik der Dopplersonografie – 16	
Farbkodierte Dopplersonografie – 18	
Powerdopplersonografie („Power-Mode“) – 21	

Ultraschallkontrastmittel und Kontrastmittelultraschall	22
Aufbau der Ultraschallkontrastmittel – 23	
Eigenschaften und Anwendung der Ultraschallkontrastmittel – 23	
Kontrastspezifische Bildgebungsverfahren – 24	
Zukünftige Entwicklungen bei den mikrobläschenbasierten Kontrastmitteln – 29	
Elastografische (elastometrische) Methoden	30
Kompressionssonografie – 30	
Scherwellenelastografie – 32	
Leberfibrosemessungen, transiente Elastografie (FibroScan) – 32	
Acoustic radiation force impulse imaging (ARFI) mittels Punkt-Scherwellenelastografie (pSWE) – 33	
Leberfibrosemessungen, 2-D-Scherwellenelastografie – 34	
Sind die SWE-Methoden ohne Einschränkung vergleichbar? – 34	
Beurteilungskriterien und Befundbeschreibung	34
Grundlagen der Terminologie – 34	
Dokumentation – 37	
Literatur	37
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Grundlagen“	39
2 Leber	41
<i>Christoph F. Dietrich</i>	
Kursgliederung	41
Topografie	45
Anatomie	45
Anatomische Orientierung – 45	
Normalbefund – 47	
Untersuchungstechnik	49
Lebersegmentzuordnung – 50	
Allgemeine sonografische Pathologie	51
Größe – 51	
Form und Kontur – 51	
Echomuster – 52	
Architektur – 52	
Spezielle sonografische Befunde	52
Diffuse Lebererkrankungen – 52	
Vaskuläre Lebererkrankungen – 61	
Benigne umschriebene Leberveränderungen – 66	
Maligne umschriebene Leberveränderungen – 76	
Transjugulärer intrahepatischer portosystemischer Shunt (TIPSS) – 80	
Perihepatische Veränderungen – 81	
Elastografie der Leber – 83	
Stellenwert	86
Literatur	87
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Leber“	89
3 Hepatobiliäres System	91
<i>Christoph F. Dietrich, Michael Hocke, Frances Bär, Ana Paula Barreiros</i>	
Kursgliederung	91
Topografie	94
Anatomie	94

Normalbefund	94
Untersuchungstechnik	94
Gallenblase	96
Allgemeine sonografische Pathologie – 96	
Gallenblasengröße – 96	
Spezielle sonografische Befunde – 96	
Pathologie der Gallenblasenwand	100
Diffuse Veränderungen – 100	
Fokale Wandveränderungen – 103	
Gallenwege	106
Abklärung des Ikterus – 106	
Choledocho-/Hepatikolithiasis – 106	
Mirizzi-Syndrom – 107	
Cholangitiden – 108	
Gallengangkarzinome (cholangiozelluläre Karzinome, CCC) – 109	
Zystische Gallengangstumoren – 110	
Aerobilie – 110	
Traumata/postoperative Komplikationen – 111	
Weiterführende Diagnostik	113
Farbdopplersonografie – 113	
Kontrastmittelultraschall – 113	
Stellenwert	114
Literatur	114
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Hepatobiliäres System“	116
4 Pankreas	119
<i>Christoph F. Dietrich, Christian Jenssen</i>	
Kursgliederung	119
Topografie	122
Anatomie	122
Normalbefund	124
Untersuchungstechnik	124
Allgemeine sonografische Pathologie	126
Größe – 126	
Form und Kontur – 126	
Echomuster – 126	
Architektur – 127	
Spezielle sonografische Befunde	127
Akute Pankreatitis – 127	
Chronische Pankreatitis – 130	
Komplikationen der Pankreatitis – 132	
Differenzialdiagnose der Pankreatitis – 132	
Pankreastumoren	133
Duktales Adenokarzinom des Pankreas – 133	
Neuroendokrine Tumoren – 135	
Metastasen – 137	
Andere Pankreastumoren – 137	
Zystische Pankreastumoren – 137	
Pankreustrauma – 141	

Farbdopplersonografie	141
Kontrastmittelultraschall	141
Elastografie	142
Stellenwert	142
Literatur	142
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Pankreas“	144
5 Milz	147
<i>Christian Görg, Corinna Trenker</i>	
Kursgliederung	147
Topografie	150
Anatomie	150
Untersuchungstechnik	150
Farbdopplersonografie (FDS)	150
Kontrastmittelultraschall (CEUS)	151
Normalbefund	151
Größe – 151	
Form und Kontur – 151	
Echomuster – 151	
Vaskularisation – 151	
Nebenmilzen – 152	
Diffuse Milzveränderungen	152
Splenomegalie – 152	
Kleine Milz (Hyposplenie) – 153	
Diffuse Parenchyminhomogenität – 154	
Primäre fokale Milzveränderungen	155
Sekundäre fokale Milzveränderungen	157
Stellenwert	159
Literatur	163
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Milz“	165
6 Abdominelle Kompartimente	167
<i>Alois Hollerweger</i>	
Kursgliederung	167
Bauchwand	172
Anatomie und Topografie – 172	
Untersuchungstechnik – 172	
Spezielle sonografische Befunde – 172	
Entzündung und Hämatom – 172	
Hernien – 172	
Tumoren – 172	
Farbdopplersonografie – 173	
Stellenwert – 174	
Peritoneum und Mesenterium	177
Anatomie und Topografie – 177	
Untersuchungstechnik – 177	
Normalbefund – 177	

Spezielle sonografische Befunde – 177	
Aszites – 177	
Peritonitis – 178	
Hämaskos – 179	
Peritonealkarzinose – 179	
Perforation – 180	
Mesenteriale Lymphknoten – 180	
Weitere Befunde – 182	
Farbdopplersonografie und Kontrastmittelultraschall – 182	
Stellenwert – 182	
Retroperitoneum	186
Anatomie und Topografie – 186	
Untersuchungstechnik – 186	
Spezielle sonografische Befunde – 186	
Aorta abdominalis – 186	
V. cava inferior – 187	
Tumoren – 188	
Entzündliche Prozesse – 188	
Hämatome – 188	
Lymphknoten – 189	
Weitere Befunde – 190	
Farbdopplersonografie und Kontrastmittelultraschall – 191	
Stellenwert – 191	
Literatur	192
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Abdominelle Kompartimente“	193
7 Gastrointestinaltrakt	195
<i>Alois Hollerweger, Christoph F. Dietrich</i>	
Kursgliederung	195
Topografie	200
Anatomie	200
Normalbefund	201
Untersuchungstechnik	202
Allgemeine sonografische Pathologie	202
Spezielle sonografische Befunde	202
Magenektasie – 202	
Magentumoren – 203	
Andere Ursachen für Magenwandverdickungen – 204	
Darmektasie und mechanischer Ileus – 205	
Divertikulitis – 208	
Appendizitis – 208	
Chronisch entzündliche Darmerkrankungen – 210	
Ischämische Darmerkrankungen – 211	
Akute Enterokolitis – 211	
Sonderformen von Darmentzündungen – 213	
Darmtumoren – 213	
Farbdopplersonografie und Kontrastmittelultraschall	215
Stellenwert	216
Literatur	216
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Gastrointestinaltrakt“	218

8 Perinealer (perianaler) Ultraschall (PNUS)	221
<i>Dieter Nürnberg, Christoph F. Dietrich</i>	
Kursgliederung	221
Topografie	223
Anatomie	223
Untersuchungstechnik	223
Untersuchungsposition –	223
Schallkopfführung –	224
Ergänzende Ultraschalltechniken –	224
Allgemeine sonografische Pathologie	225
Spezielle sonografische Befunde	225
Fisteln und Abszesse –	225
Anale und rektale Tumoren –	228
Inkontinenzabklärung –	231
Diagnostische und therapeutische Interventionen –	231
Weiterführende Diagnostik	231
PNUS und ERUS –	231
Varia	232
Stellenwert	233
Literatur	233
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Perinealer (perianaler) Ultraschall (PNUS)“	234
9 Kleines Becken	235
<i>Alois Hollerweger</i>	
Kursgliederung	235
Topografie	240
Anatomie	240
Normalbefund	240
Harnblase und Ureteren –	240
Prostata und Samenblasen –	241
Uterus, Vagina und Adnexe –	241
Untersuchungstechnik	241
Allgemeine sonografische Pathologie	242
Spezielle sonografische Befunde	242
Harnblase –	242
Weibliches Becken –	244
Männliches Becken –	248
Farbdopplersonografie und Kontrastmittelultraschall	249
Stellenwert	249
Literatur	250
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Kleines Becken“	251

10 Niere	253
<i>Jan Tuma, Christoph F. Dietrich</i>	
Kursgliederung	253
Topografie	254
Anatomie	254
Normalbefund	258
Lage – 258	
Größe – 258	
Parenchym – 258	
Echomuster – 259	
Architektur – 259	
Gefäßversorgung – 259	
Untersuchungstechnik	260
Allgemeine sonografische Pathologie	261
Lage und Form – 261	
Größe – 262	
Kontur – 262	
Echomuster des Nierenparenchyms – 262	
Architektur – 263	
Anomalien der Anlage, Lage und Form	263
Rotationsanomalien – 263	
Agenesie, Aplasie, Hypoplasie, Dystopie, Nephroptose – 263	
Doppelnieren, Hufeisenniere, Kuchenniere – 264	
Nierenparenchymerkrankungen	265
Vergrößerte Nieren – 265	
Verkleinerte Nieren – 267	
Nieren mit Konturveränderungen – 269	
Nieren mit abnormem Echomuster – 269	
Fokale Nierenparenchymveränderungen	271
Echofreie Veränderungen – 271	
Echoreiche Veränderungen – 277	
Echoarme und komplexe Veränderungen – 279	
Perirenale Veränderungen	281
Hämatome – 281	
Perinephritische Abszesse – 282	
Veränderungen des Nierensinus	282
Normvarianten – 282	
Erweitertes Nierenbeckenkelchsystem (Hydronephrose) – 283	
Harnwegsobstruktion (HO) – 283	
Vesikoureteraler Reflux (VUR) – 288	
Differenzialdiagnose der Harnstauung – 289	
Tumoren des Nierenbeckenkelchsystems – 289	
Nierengefäße	289
Nierenarterien – 289	
Nierenvenen – 289	
Transplantatniere	290
Stellenwert	292
Literatur	292
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Niere“	294

11 Nebenniere	297
<i>Christoph F. Dietrich</i>	
Kursgliederung	297
Topografie	300
Anatomie und Normalbefund	300
Untersuchungstechnik	301
Allgemeine sonografische Pathologie	301
Spezielle sonografische Befunde	302
Nebennierenzyste – 302	
Verkalkung – 302	
Hämatom – 302	
Myelolipom der Nebenniere – 302	
Nebennierenadenom – 302	
Nebennierenkarzinom – 303	
Nebennierenmetastase – 303	
Tumoren des Nebennierenmarks – 304	
Differenzialdiagnose	304
Farbdopplersonografie	304
Kontrastmittelultraschall	304
Stellenwert	305
Literatur	305
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Nebenniere“	306
12 Schilddrüse	309
<i>Christoph F. Dietrich</i>	
Kursgliederung	309
Topografie	312
Anatomie	312
Untersuchungstechnik	313
Normalbefund	313
Größe, Echomuster – 313	
Anforderungen an einen Sonografiebefund – 313	
Allgemeine sonografische Pathologie	314
Spezielle sonografische Befunde	314
Diffuse Schilddrüsenkrankheiten – 314	
Benigne umschriebene Schilddrüsenveränderungen – 317	
Maligne umschriebene Veränderungen der Schilddrüse – 318	
Nebenschilddrüse	320
Farbdopplersonografie	321
Neue Ultraschalltechniken	322
Stellenwert	322
Literatur	322
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Schilddrüse“	323

13 Kopf und Hals, Speicheldrüsen	325
<i>Norbert Gritzmann</i>	
Kursgliederung	325
Topografie	328
Anatomie	328
Gl. parotis – 328	
Gl. submandibularis – 328	
Gl. sublingualis – 328	
Pathologische Veränderungen der Speicheldrüsen	328
Akute Entzündungen der Speicheldrüsen – 328	
Chronische Entzündungen der Speicheldrüsen – 329	
Sialolithiasis – 330	
Tumoren der Speicheldrüsen – 330	
Halsweichteile	333
Halszysten – 333	
Weichteiltumoren – 334	
Zervikale Lymphknoten	334
Entzündliche Lymphknoten – 335	
Tuberkulöse Lymphadenitis – 335	
Lymphknotenmetastasen – 336	
Maligne Lymphome – 337	
Farbdopplersonografie	337
Echosignalverstärkte Sonografie	338
Elastografie	338
Stellenwert	338
Literatur	338
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Kopf und Hals, Speicheldrüsen“	340
14 Thoraxwand, Lunge und Pleura	341
<i>Christoph F. Dietrich, Barbara Braden, Susanne Morf, Rudolf Horn</i>	
Kursgliederung	341
Topografie und Anatomie	344
Normalbefund	344
Untersuchungstechnik	344
Spezielle sonografische Befunde der Thoraxwand	344
Spezielle sonografische Befunde des Diaphragmas	345
Spezielle sonografische Befunde von Pleura und Lunge	345
Pleuraerguss – 346	
Pneumothorax – 347	
Spezielle sonografische Befunde, fokale Veränderungen	347
Pleuraschwarte – 347	
Pleuratumoren – 347	
Atelektasen – 348	
Pneumonische Infiltrationen – 348	
Bronchialkarzinom – 350	
Lungenembolie und Lungeninfarkt – 350	

Lungenkontusion – 351	
Lungenödem – 352	
Zusammenfassung der speziellen Lungenbefunde – 352	
Farbdopplersonografie	352
Kontrastmittelultraschall	352
Stellenwert	352
Literatur	353
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Thoraxwand, Lunge und Pleura“	354
15 Mediastinum	357
<i>Christoph F. Dietrich</i>	
Kursgliederung	357
Topografie	360
Anatomie	360
Normalbefund	360
Untersuchungstechnik	361
Allgemeine sonografische Pathologie	361
Spezielle sonografische Befunde	361
Farbdopplersonografie	361
Kontrastmittelultraschall	362
Stellenwert	362
Literatur	364
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Mediastinum“	365
16 Skrotum	367
<i>Guntram Lock, Matthias Heitz, Gotthard von Klinggräff</i>	
Kursgliederung	367
Embryogenese	370
Descensus testis – 370	
Anatomie	370
Normalbefund	370
Untersuchungstechnik	372
Spezielle sonografische Befunde	372
Hoden – 372	
Hodentumoren – 373	
Hodenzysten, Verkalkungen – 375	
Entzündung: Orchitis – 375	
Nebenhoden – 376	
Entzündung: Epididymitis – 377	
Samenstrang und paratestikuläres Gewebe – 378	
Sonografie des akuten Skrotums	379
Trauma – 379	
Hodentorsion – 380	
Hydatidentorsion – 381	
Stellenwert der Skrotalsonografie, Einsatz neuerer sonografischer Verfahren	382

Literatur	384
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Skrotum“	385
17 Abdominelle Gefäße	387
<i>André Ignee, Gudrun Schüßler, Christoph F. Dietrich</i>	
Kursgliederung	387
Untersuchungstechnik	390
Messwerte – 390	
Einschallwinkel – 390	
Die relativen Indizes – 391	
Der Gefäßquerschnitt und das Blutflussvolumen – 391	
Messort – 392	
Truncus coeliacus	392
Pathologische Veränderungen – 393	
Darmgefäße	393
A. mesenterica superior (AMS) – 393	
A. mesenterica inferior (AMI) – 394	
Lebergefäße	394
Leberarterien – 394	
Varianten der arteriellen Leberversorgung – 395	
V. portae – 395	
Lebervenen – 396	
Nierengefäße	398
Nierenarterienstenosen – 398	
Fokale Läsionen – 399	
Diffuse Nierenerkrankungen – 399	
Stellenwert	400
Analyse der Literatur	400
Literatur	400
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Abdominelle Gefäße“	401
18 Sonografie am Bewegungsapparat	403
<i>Rudolf Horn, Helmut Reinwald, Christoph F. Dietrich</i>	
Kursgliederung	403
Vorbemerkungen	404
Untersuchungstechnik	404
Dokumentation – 404	
Allgemeine und spezielle Sonoanatomie – regionenübergreifend	404
Punktionen – 406	
Ultraschallphänomene	406
Phänomen der Reflexumkehr bzw. Anisotropie – 406	
Phänomen der Pseudousur – 406	
Obere Extremität	411
Schulter – 411	
Untersuchungstechnik/Standardschnitte – 411	
Punktion – 412	
Omarthritis – 412	

Bursitis subacromialis – 413	
Rotatorenmanschettenruptur – 413	
Ellenbogen – 414	
Untersuchungstechnik – 414	
Kubitalarthritis – 414	
Bursa olecrani – 415	
Tennisellenbogen – 415	
Handgelenke und Finger – 416	
Untersuchungstechnik – 416	
Karpalarthritis und Tenosynovitis – 416	
Karpaltunnelsyndrom – 417	
Handgelenkganglion – 418	
Untere Extremität	421
Hüfte – 421	
Untersuchungstechnik – 421	
Koxarthritits – 421	
Amyloidarthropathie versus Infektarthritis – 422	
Koxarthrose – 422	
Knie – 423	
Untersuchungstechnik – 423	
Gonarthritits – 423	
Poplitealzyste/Baker-Zyste – 423	
Gonarthrose – 424	
M. quadriceps femoris – 425	
Sprunggelenk und Achillessehne – 425	
Untersuchungstechnik – 425	
Artikulosynovitis versus Tenosynovitis versus Unterhautödem – 425	
Sprunggelenkarthritiden – 425	
Tenosynovitis – 426	
Achillessehnenerkrankungen – 426	
M.-gastrocnemius-Ruptur – 427	
Ligamente des oberen Sprunggelenks – 428	
Vorfuß – 430	
Untersuchungstechnik – 430	
Vorfußarthritits bei rheumatoider Arthritis und bei Gicht – 430	
Stellenwert der Ultraschalldiagnostik am Bewegungsapparat – 430	
Diagnostik und Differenzialdiagnostik – 430	
Therapie und Verlauf – 432	
Spezielle Körperregionen – 432	
Bewertung neuer Techniken – 433	
Literatur	434
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Sonografie am Bewegungsapparat“	435
19 Knochen- und Fraktursonografie bei Kindern	437
<i>Ole Ackermann</i>	
Kursgliederung	437
Topografie	438
Anatomie	438
Anatomische Orientierung – 438	
Normalbefund	438
Untersuchungstechnik	439

Allgemeine sonografische Pathologie	439
Frakturformen – 439	
Weichteilläsionen – 440	
Deformitäten – 440	
Dokumentation	440
Spezielle Indikationen	441
Distale Unterarmfraktur – 441	
Ellenbogenfraktur – 441	
Proximale Humerusfraktur – 442	
Screening okkultter Frakturen – 443	
Sternum – 443	
Rippen – 444	
Stellungskontrollen – 444	
Stellenwert	444
Rationelles Vorgehen	445
Literatur	445
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Knochen- und Fraktursonografie bei Kindern“	446
20 Farbkodierte Dopplersonografie der Halsgefäße	449
<i>Gerald Lesnik, Christoph F. Dietrich</i>	
Kursgliederung	449
Anatomie und Topografie	452
Indikation und Voruntersuchung	453
Klinische Indikationen – 453	
Klinische Voruntersuchungen – 454	
Untersuchungstechnik	454
A. carotis communis – 454	
A. vertebralis – 461	
Normalbefund	462
A. carotis – 462	
A. vertebralis – 462	
Intima-Media-Dicke (IMD) – 463	
Pathologische Befunde	465
Gefäßelongationen – 465	
Atherosklerose – 465	
Plaques – 466	
Stenosen – 468	
Pseudookklusion – 480	
Verschluss – 481	
Dissektion – 482	
Fibromuskuläre Dysplasie – 486	
Vaskulitis – 486	
Pulsierende Schwellung am Hals – 488	
Hypoplasie der A. vertebralis – 488	
Subclavian steal – 488	
Stellenwert	490
Literatur	490
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Farbkodierte Dopplersonografie der Halsgefäße“	492

21 Peripheres Venensystem	495
<i>Alois Hollerweger, Christoph F. Dietrich</i>	
Kursgliederung	495
Anatomie und Topografie	498
Untere Extremität – 498	
Obere Extremität – 498	
Physiologie des Venensystems	498
Untersuchungstechnik	499
Kontinuierliche dopplersonografische (cw-)Untersuchung – 499	
B-Bild-Sonografie – 499	
Farbduplexsonografie – 499	
Patientenlagerung – 500	
Dokumentation – 500	
Normalbefund	500
Spezielle sonografische Befunde	501
Tiefe Beinvenenthrombose – 501	
Oberflächliche Thrombophlebitis – 504	
Klappeninsuffizienz – 505	
Kontrastmittelultraschall	506
Stellenwert	506
Literatur	507
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Peripheres Venensystem“	508
22 Dopplersonografie peripherer Arterien	511
<i>Gerald Lesnik, Alois Hollerweger, Christoph F. Dietrich</i>	
Kursgliederung	511
Anatomie und Topografie	512
Untere Extremität – 512	
Obere Extremität – 521	
Physiologie peripherer Arterien	524
Untersuchungstechnik	525
Dopplersonografische (cw-)Untersuchung – 525	
B-Bild-Sonografie – 525	
Farbdopplersonografie – 527	
Spektraldoppler – 527	
Patientenlagerung – 528	
Dokumentation – 528	
Normalbefund	529
Indikationen	531
Was sollten wir vor einer Sonografie wissen?	532
Spezielle sonografische Befunde	534
Einführung Stenosekriterien	534
Stenosen und Verschlüsse	540
Akute Ischämie – 541	
Sonderform Leriche-Syndrom – 543	
Aneurysmen – 543	

Gefäßverletzungen – 543	
Popliteal entrapment („Kniegelenkfalle“) – 544	
Stents – 546	
Thorakales Ausflusssyndrom (TOS) – 546	
Krankheiten der Arterien – 546	
Kathetereinlagen – 547	
Postoperative Beurteilung von Fisteln zur Hämo­filtration bzw. Dialysetherapie – 548	
Bypass – 549	
Kontrastmittelultraschall	550
Zusammenfassung	550
Stellenwert	551
Literatur	551
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Dopplersonografie peripherer Arterien“	553
23 Notfallsonografie	555
<i>Rudolf Horn, Susanne Morf, Christoph F. Dietrich</i>	
Kursgliederung	555
Vorbemerkungen	556
Untersuchungstechnik – 556	
Geräte – 556	
Speicherung – 557	
Literatur – 557	
Basisnotfallsonografie (BNFS)	558
<i>Rudolf Horn, Susanne Morf, Christoph F. Dietrich</i>	
Einführung – 558	
E-FAST (Extended focussed assessment with sonography in trauma) – 558	
Untersuchungstechnik – 558	
Allgemeine sonografische Pathologie – 559	
Stellenwert – 564	
Zusammenfassung – 565	
Abdominales Aortenaneurysma – 566	
Untersuchungstechnik – 566	
Allgemeine sonografische Pathologie – 566	
Stellenwert – 566	
Zusammenfassung – 568	
Cholezystolithiasis, Choledocholithiasis und Cholezystitis – 568	
Untersuchungstechnik – 568	
Allgemeine sonografische Pathologie – 568	
Stellenwert – 569	
Zusammenfassung – 569	
Tiefe Beinvenenthrombose (tBVT) – 570	
Untersuchungstechnik – 570	
Allgemeine sonografische Pathologie – 571	
Stellenwert – 571	
Zusammenfassung – 571	
Hydronephrose – 571	
Untersuchungstechnik – 572	
Allgemeine sonografische Pathologie – 572	
Stellenwert – 572	
Zusammenfassung – 573	

Harnblasenretention – 573	
Untersuchungstechnik – 573	
Allgemeine sonografische Pathologie – 573	
Stellenwert – 574	
Zusammenfassung – 574	
Ultraschallgesteuerte Punktionen – 574	
Untersuchungstechnik – 574	
Punktionen im Einzelnen – 575	
Sterilität – 575	
Zusammenfassung – 575	
Literatur – 576	
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Basisnotfallsonografie (BNFS)“ – 577	

Fokussierter kardialer Ultraschall (FOCUS) 579

Susanne Morf, Rudolf Horn, Christoph F. Dietrich

Einführung – 579	
Untersuchungstechnik – 579	
Linker Ventrikel – 583	
Untersuchungstechnik und allgemeine sonografische Pathologie – 583	
Zusammenfassung – 585	
Rechter Ventrikel – 585	
Untersuchungstechnik – 585	
Allgemeine sonografische Pathologie – 585	
Zusammenfassung – 586	
Perikarderguss – 586	
Untersuchungstechnik und allgemeine sonografische Pathologie – 587	
Zusammenfassung – 588	
Volumenstatus – 588	
Untersuchungstechnik und allgemeine sonografische Pathologie – 588	
Stellenwert – 589	
Dokumentation – 589	
Literatur – 589	
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Fokussierter kardialer Ultraschall (FOCUS)“ – 590	

Lungenultraschall im Notfall (LUS) 591

Susanne Morf, Rudolf Horn, Christoph F. Dietrich

Einführung – 591	
Pneumonie, Pleuritis – 591	
Untersuchungstechnik – 591	
Allgemeine sonografische Pathologie – 591	
Stellenwert – 593	
Zusammenfassung – 594	
Interstitielles Syndrom – 594	
Untersuchungstechnik – 594	
Allgemeine sonografische Pathologie – 594	
Stellenwert – 595	
Zusammenfassung – 595	
Lungenkontusionen – 595	
Untersuchungstechnik – 596	
Allgemeine sonografische Pathologie – 596	
Stellenwert – 596	
Zusammenfassung – 596	
Sternumfrakturen – 596	
Untersuchungstechnik – 596	
Allgemeine sonografische Pathologie – 597	

Stellenwert – 597	
Zusammenfassung – 597	
Rippenfrakturen – 597	
Untersuchungstechnik – 597	
Allgemeine sonografische Pathologie – 597	
Stellenwert – 597	
Zusammenfassung – 597	
Lungenembolie – 598	
Untersuchungstechnik – 598	
Allgemeine sonografische Pathologie – 598	
Stellenwert – 598	
Zusammenfassung – 598	
Zusammenfassung – 599	
Literatur – 599	
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Lungenultraschall im Notfall (LUS)“ – 600	
Fokussierter Ultraschall am Bewegungsapparat (Fok BWA)	601
<i>Rudolf Horn, Christoph F. Dietrich</i>	
Einführung – 601	
Gelenkerguss – 601	
Untersuchungstechnik – 601	
Allgemeine sonografische Pathologie – 601	
Stellenwert – 603	
Zusammenfassung – 603	
Frakturen – 604	
Untersuchungstechnik – 604	
Allgemeine sonografische Pathologie – 604	
Stellenwert – 605	
Zusammenfassung – 605	
Sehnenrupturen – 605	
Untersuchungstechnik – 605	
Allgemeine sonografische Pathologie – 606	
Stellenwert – 606	
Zusammenfassung – 607	
Muskelrupturen – 607	
Untersuchungstechnik – 607	
Allgemeine sonografische Pathologie – 607	
Stellenwert – 609	
Zusammenfassung – 609	
Weichteilschwellungen (inkl. Abszess) – 609	
Untersuchungstechnik – 609	
Allgemeine sonografische Pathologie – 610	
Stellenwert – 611	
Zusammenfassung – 611	
Fremdkörper – 611	
Untersuchungstechnik – 611	
Allgemeine sonografische Pathologie – 612	
Stellenwert – 612	
Zusammenfassung – 612	
Ultraschallgesteuerte Punktionen – 612	
Sterilität – 613	
Untersuchungstechnik – 613	
Zusammenfassung – 613	
Literatur – 613	
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Fokussierter Ultraschall am Bewegungsapparat (Fok BWA)“ – 614	

Notfallsonografie im klinischen Kontext	616
<i>Rudolf Horn, Christoph F. Dietrich</i>	
Einführung – 616	
Untersuchungstechnik bei Hypotonie (Kreislaufchock) – 616	
Einteilung der Schockformen – 616	
Praktisches Vorgehen – 617	
Untersuchungstechnik bei Dyspnoe – 618	
Lungensultraschall (LUS) – 618	
Fokaler kardialer Ultraschall (FOCUS) – 620	
Krankheiten in Verbindung mit den Ultraschallbefunden – 621	
Untersuchungstechnik beim Trauma – 621	
Ultraschall während kardiopulmonaler Wiederbelebung – 622	
Vorgehen mit dem Ultraschall – 622	
Differenzierung der PEA von einer Pseudo-PEA – 622	
Diagnostik reversibler Ursachen – 622	
Literatur – 623	
Prüfen Sie Ihr Wissen zum Kapitel „Notfallsonografie im klinischen Kontext“ – 624	
Videos zum Buch	625
Untersuchungsablauf	625
Leber	626
Hepatobiliäres System	627
Pankreas	628
Milz	628
Abdominelle Kompartimente	628
Gastrointestinaltrakt	629
Kleines Becken	630
Nieren	630
Nebenniere	631
Mediastinum	631
Abdominelle Gefäße	631
Stichwortverzeichnis	633

Geschichte und Entwicklung der Ultraschalldiagnostik

Hagen Weiss

Das Phänomen

Schon immer haben sich die Menschen Gedanken über die rätselhafte Orientierungsfähigkeit von Fledermäusen in der Dunkelheit gemacht. Das experimentierfreudige Zeitalter der Aufklärung in der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts spürte dem geheimnisvollen Phänomen nach und entwickelte Versuchsanordnungen zu seiner Klärung.

Der Geistliche, Ordinarius der Naturgeschichte der Universität Pavia, Leiter des dortigen naturhistorischen Museums und vielseitige naturwissenschaftliche Experimentator Lazzaro Spallanzani (1729–1799) beschäftigte sich erstmals experimentell mit dem Flug der Fledermäuse und ihrer Fähigkeit, selbst in der Dunkelheit kleinsten Hindernissen auszuweichen. Seine in Briefform (*Lettere*, 1793/94) an Brief- und Experimentierpartner gerichteten Untersuchungsergebnisse halten fest, dass sich Fledermäuse auch dann in der Dunkelheit zu rechtfinden und Hindernissen ausweichen, wenn sie geblendet und gleichzeitig ihres Tastsinns, ihres Geschmacks und ihres Geruchs beraubt sind [Spallanzani 1825/1826]. Das gleichzeitige Verstopfen der Gehörgänge geblendeter Tiere führte in 10 von 11 Fällen nicht zu einer Einschränkung der Orientierungsfähigkeit. Spallanzani nahm deshalb an, dass sich die Tiere mit einem sechsten, für Menschen nicht fassbaren Sinn orientieren müssten, der seinen Sitz im Bereich des Kopfes haben müsse, denn Tiere, deren Kopf mit einem Tuch vollständig bedeckt wurde, waren nicht mehr in der Lage, sich zu orientieren.

Der Genfer Arzt und Naturwissenschaftler Louis Jurine (1751–1819) hatte von diesen Versuchen gehört und wiederholte sie [Peschier 1798]. Übereinstimmend mit Spallanzani stellte er fest, dass die Augen zur Orientierung der Fledermäuse nicht notwendig sind. Im Unterschied zu Spallanzani fand er jedoch, dass alle 6 geblendeten und durch Verbinden der Ohren oder Perforation des Trommelfells um das Gehör gebrachten Tiere sich nicht mehr orientieren konnten, während geblendete Tiere mit intakten Ohren den Hindernissen auszuweichen in der Lage waren. Er schloss daraus, dass die Ohren der Fledermäuse die Augen bei der Orientierung im Flug ersetzen können.

Obwohl Spallanzani die Ergebnisse Jurines nachträglich bestätigte und die Spallanzanischen Ergebnisse

schnell in der damaligen gebildeten Welt bekannt wurden [Gren 1794; Reil 1796], konnte sich die Theorie des sechsten Sinns oder gar die Hörtheorie im 19. Jahrhundert nicht durchsetzen. Die von Cuvier [Claus 1885] aufgestellte Tastsinntheorie hielt sich in der enzyklopädischen Literatur bis in das 20. Jahrhundert [Brehm 1927]. Der Grund dafür, dass sich die Hörtheorie nicht durchsetzen konnte, war wohl einfach die Tatsache, dass eine für den Menschen nicht hörbare Tonqualität nicht vorstellbar war [Galambos 1942/43].

Nach Bekanntwerden der Existenz von Ultraschallwellen konnte Hartridge [1920] allein aufgrund der Betrachtung des Fluges der Fledermäuse bei Tag und in der Nacht die Hypothese aufstellen, dass Fledermäuse im Flug hochfrequente, das heißt kurzwellige Schreie ausstoßen, die oberhalb der menschlichen Hörgrenze liegen, und aus der Art der Reflektion dieser Schreie (sog. Sound ranging) im Wege liegende Hindernisse erkennen und umfliegen können. Die Richtigkeit dieser Hypothese wurde durch die sorgfältigen Untersuchungen von Griffin und Galambos in den Jahren 1939–1942 bestätigt, die mit Mikrofonen und Verstärkersystemen die Schreie der Fledermäuse aufnehmen konnten [Griffin u. Galambos 1941; Galambos u. Griffin 1942]: Fledermäuse stoßen zur Orientierung Schreie mit einer Frequenz zwischen 30 000 und 70 000 Hz mit einer Impulsdauer von 0,01–0,02 s aus. Die Impulsfrequenz ist umso höher, je schneller das Tier fliegt und je näher und schwieriger zu differenzieren das Hindernis ist (5–60 Schreie pro Sekunde). Für andere Tiere sind inzwischen ähnliche Beobachtungen gemacht worden [Timm u. Schaller 1949]. Das in der Natur benutzte Ortungssystem kann als Modell für die Ultraschalldiagnostik verwendet werden.

Die Erzeugung von Ultraschallwellen

1880 entdeckten die Brüder Jacques und Pierre Curie, dass bestimmte Kristalle bei Kompression eine polarisierte Elektrizität entwickeln – ein Phänomen, das später Piezo-Elektrizität genannt wurde [Curie u. Curie 1880]. Unter Verwendung des reziprok-piezoelektrischen Prinzips konnten die ersten Ultraschallgeneratoren zur Ortung von Hindernissen im Wasser in den Kriegsjahren 1914–1918 nach den Patenten von Langevin und Chi-