

**Aus dem
Institut für Veterinär-Anatomie
des Fachbereiches Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin**

**Kernspintomographische Untersuchungen
der Bauchhöhle der Katze**

**INAUGURAL – DISSERTATION
Zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin**

**Vorgelegt von
Hubertus Pietsch
Tierarzt aus Görlitz**

Berlin 1998

Journal-Nr. 2217

Gedruckt mit Genehmigung des
Fachbereiches Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. K. Hartung
Erster Gutachter:	Univ.-Prof. Dr. habil. R. Berg
Zweiter Gutachter:	Univ.-Prof. Dr. K. Hartung

Tag der Promotion: 06.11.1998

Gewidmet meinen Eltern

in Erinnerung

Inhaltsverzeichnis

	Abkürzungsverzeichnis	7
1.	Einleitung	9
2.	Literaturübersicht	10
2.1.	Grundlagen der Kernspintomographie	10
2.1.1	Entwicklung der Kernspintomographie	10
2.1.2	Physikalische Grundlagen	12
2.1.2.1	Kernspin und Magnetisierung	12
2.1.2.2	Resonanzanregung und Relaxation	15
2.1.2.3	Bestimmende Parameter für die MRT-Aufnahmetechnik	18
2.1.3	Darstellung der verschiedenen Gewebe	20
2.1.4	Biophysikalische Wirkungen und gesundheitliche Risiken	26
2.1.5	Anwendung in der Veterinärmedizin	29
2.2	Angewandt- und topographisch-anatomische Grundlagen der Bauchhöhle der Katze	31
2.2.1	Leber, Hepar	31
2.2.1.1	Bau der Leber	31
2.2.1.2	Lage und Lageveränderungen	32
2.2.1.3	Blut- und Nervenversorgung	33
2.2.1.4	Darstellungsmöglichkeiten der Leber	33
2.2.2	Bauchspeicheldrüse, Pancreas	36
2.2.2.1	Bau des Pancreas	36
2.2.2.2	Lage und Lageveränderungen	36

2.2.2.3	Blut- und Nervenversorgung	37
2.2.2.4	Darstellungsmöglichkeiten des Pancreas	37
2.2.3	Magen, Ventriculus	38
2.2.3.1	Bau des Magens	38
2.2.3.2	Lage und Lageveränderungen	39
2.2.3.3	Blut- und Nervenversorgung	40
2.2.3.4	Darstellungsmöglichkeiten des Magens	42
2.2.4	Milz, Lien	46
2.2.4.1	Bau der Milz	46
2.2.4.2	Lage und Lageveränderungen	47
2.2.4.3	Blut- und Nervenversorgung	48
2.2.4.4	Darstellungsmöglichkeiten der Milz	48
2.2.5	Darm, Intestinum	50
2.2.5.1	Bau des Darmes	50
2.2.5.2	Lage und Lageveränderungen	51
2.2.5.3	Blut- und Nervenversorgung	52
2.2.5.4	Darstellungsmöglichkeiten des Darmes	53
2.2.6	Niere, Ren, und Harnleiter, Ureter	59
2.2.6.1	Bau der Nieren und der Harnleiter	59
2.2.6.2	Lage und Lageveränderungen	60
2.2.6.3	Blut- und Nervenversorgung	61
2.2.6.4	Darstellungsmöglichkeiten der Nieren und Harnleiter	62
3.	Eigene Untersuchungen	65
3.1	Material und Methoden	65
3.1.1	Tiermaterial	65
3.1.2	Vorbereitung der Tiere für die Kernspintomographie	65

3.1.3	Kernspintomographie-Ausrüstung	66
3.1.4	Dokumentation	66
3.1.5	Anfertigung der anatomischen Präparate	67
3.1.6	Fototechnik und Bildbearbeitung	67
3.2	Ergebnisse	69
3.2.1	Beschreibung von MRT-Aufnahmen und Vergleich mit anatomischen Präparaten der Bauchhöhle in horizontaler Schnittebene	69
3.2.2	Beschreibung von MRT-Aufnahmen und Vergleich mit anatomischen Präparaten der Bauchhöhle in sagittaler Schnittebene	85
3.2.3	Beschreibung von MRT-Aufnahmen und Vergleich mit anatomischen Präparaten der Bauchhöhle in transversaler Schnittebene	95
4.	Diskussion	115
5.	Zusammenfassung	119
6.	Summary	121
7.	Schrifttumsverzeichnis	123

Abkürzungsverzeichnis

A.	-Arteria
Aa.	-Arteriae
AC	-Anzahl der Aquisitionen
B	-magnetische Induktion
BW.	-Brustwirbel
CT	-Computertomographie
cm	-Zentimeter
3D	-dreidimensional
DTPA	-Diäthylentriaminpentaessigsäure (Komplexbildner)
FID	-free induction decay (= freier Induktionszerfall, Kernresonanzsignal nach gepulster Anregung)
g	-Gramm
Gd	-Gadolinium (Element der seltenen Erden, paramagnetischer Chelatkomplex)
Gd-DTPA	-Gadolinium-DTPA-Dimeglumin = Magnevist (KM für die MRT)
GE	-Gradientenecho
hori.	-horizontale Bildebene
Hz	-Hertz (Hz = 1/s:Frequenzeinheit)
i.a.	-intraarteriell
ICR	-Interkostalraum
i.v.	-intravenös
i.m.	-intramuskulär
KM	-Körpermasse
Lc.	-Lymphocentrum
Lig.	-Ligamentum
Ln.	-Lymphonodus
Lnn.	-Lymphonodi
LW.	-Lendenwirbel
m	-männlich
M.	-Musculus
mm	-Millimeter

Mm.	-Musculi
MR	-magnetische Resonanz bzw. Magnetresonanz
MRA	-MR-Angiographie
MRS	-Magnetresonanztomographie
N.	-Nervus
Nn.	-Nervi
Proc.	-Processus
pw	-protonengewichtet
R.	-Ramus
Rr.	-Rami
sagit.	-sagittale Bildebene
SD	-Schichtdicke
SE	-Spincho
SI	-Signalintensität
S/R	-Signal-Rausch-Verhältnis
S(t)	-zeitabhängiges Kernresonanzsignal
T	-Tesla (Einheit der magnetischen Flußdichte)
TD	-Verzögerungszeit
TE	-Echozeit
TI	-Inversionszeit
TR	-Repetitionszeit
trans.	-transversale Bildebene (= axial)
T1w	-T1-gewichtete Bilder
T2w	-T2-gewichtete Bilder
V.	-Vena
Vv.	-Venae
w	-weiblich
2D	-zweidimensional

1. Einleitung

Die Haltung der Hauskatzen erfreut sich seit geraumer Zeit wachsender Beliebtheit. Heute werden in Deutschland mehr als 5 Mill. Katzen gehalten. Dadurch nimmt sie einen hohen Stellenwert als Patient in der Kleintierpraxis ein. Der oft sehr hohe ideelle und materielle Wert vieler Katzen erfordert vom Tierarzt eine immer umfangreichere Diagnostik und Therapie, so daß Kenntnisse der topographischen und angewandten Anatomie der Katze eine wichtige Grundlage bilden. Mit dem Einzug moderner bildgebender Verfahren, wie Computertomographie oder Magnetresonanztomographie in die Humanmedizin eröffnen sich völlig neue und umfangreichere Möglichkeiten zur Diagnostik und Therapie. Kleinste anatomische Strukturen und sogar Funktionsabläufe im Körper können dargestellt und interpretiert werden .

Von der stürmischen Entwicklung in der Humanradiologie kann auch die Veterinärmedizin profitieren. Durch die ständige Weiterentwicklung vor allem der Magnetresonanztomographie, kommen immer vollkommenere Geräte auf den Markt, so daß in relativ kurzer Zeit eine an sich sehr teure Technologie der Veterinärmedizin zur Verfügung steht. Schon jetzt sind Computertomographen an veterinärmedizinischen Einrichtungen im Einsatz, wie z.B. an der Universität Utrecht.

So eröffnen sich vor allem der Kleintiermedizin neue Möglichkeiten einer umfangreicheren darstellenden Diagnostik. Grundlegende Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung dieser modernen Untersuchungsverfahren, sind fundierte Kenntnisse der topographischen und angewandten Anatomie der Katze.

Diese Arbeit soll einen Beitrag zur topographischen und angewandten Anatomie der Katze für die Anwender dieser neuen Bilddarstellungsverfahren liefern. Die Organe und Gewebestrukturen der Bauchhöhle der Katze werden anhand von Tiefgefrierschnitten, Präparaten und Zeichnungen mit Kernspintomographieaufnahmen aus gleichen Ebenen der Bauchhöhle bildlich dargestellt, beschrieben und verglichen.

Somit wird eine Grundlage geschaffen, MRT-Aufnahmen der Bauchhöhle der Katze zu interpretieren und damit ein neues Feld einer aussagekräftigen und vielseitigen Diagnostik der Kleintiermedizin zu erschließen.

2. Literaturübersicht

2.1. Grundlagen der Kernspintomographie

2.1.1. Entwicklung der Kernspintomographie

Die Kernspintomographie ist ein sehr junges diagnostisches Verfahren, jedoch ist das Grundprinzip bereits seit langem bekannt. Ebenso wie die Spektroskopie beruht sie auf dem Prinzip der Kernspinresonanz. 1938 wurde dieses Phänomen erstmals von Rabi beschrieben, als er beobachtete, daß Wasserstoffmoleküle beim Durchqueren eines Magnetfeldes durch elektromagnetische Hochfrequenzenergie abgelenkt werden können (Rabi et al., 1992).

1946 entdeckten die US-Amerikaner Purcell und Powel, sowie Bloch und Hansen unabhängig voneinander die unterschiedliche HF-Absorption von Paraffin und Wasser in einem konstanten Hochfrequenzfeld und einem variablen Magnetfeld (Purcell et al., 1946; Bloch et al., 1946).

Erst in den fünfziger Jahren wurden die tatsächlichen Möglichkeiten der MR-Spektroskopie erkannt. Dabei fand man heraus, daß Protonen verschiedener Moleküle auch leicht unterschiedliche Hochfrequenzen absorbieren. Diese chemische Verschiebung ist Grundlage der gesamten MR-Spektroskopieanalytik. So ermöglichte die chemische Verschiebung die Identifizierung und Quantifizierung unbekannter Materials (Vogl u. Balzer, 1991).

Die Homogenität des Magnetfeldes spielt für die Signalstärke und die Auflösung des Kernresonanzspektrums eine entscheidende Rolle.

Damadian (1971) setzte die Kernspintomographie erstmals zur In-Vitro-Differenzierung maligner Tumore zu normalem Gewebe ein. Durch seine Untersuchungen wurde bekannt, daß sich gesunde und pathologische Gewebe in Bezug auf die Kerndichte und die Relaxationzeiten signifikant unterscheiden können und damit der Bestimmung dieser Größen klinische Bedeutung zukommt. Damit begann eine verstärkte Forschungstätigkeit zur Konstruktion von Tomographen. Bis zu diesem Zeitpunkt war die Kernspinresonanztomographie vornehmlich eine rein analytische Labormethode ohne Bildgebung oder Ortsauflösung (Kaufmann et al., 1984). Als Hauptproblem bei der Entwicklung der Kernspintomographie war zu jener Zeit die räumliche Differenzierung kleiner Organvolumina anzusehen, da der menschliche Körper im Vergleich zu einer

chemisch einheitlichen Probe kein heterogenes Gemisch von Zellen darstellt. Um ein flächenhaftes Bild von Geweben zu erstellen, muß also das Resonanzsignal aus dem zu untersuchenden Körperquerschnitt ortskodiert von einem Rechnersystem als Bild dargestellt werden (Markmiller, 1991).

Das Jahr 1973 kann man als das eigentliche Geburtsjahr der Kernspintomographie bezeichnen. Die Bilderzeugung basierte auf der Aufzeichnung eindimensionaler Projektionen, die durch Drehung des Objekts variiert wurden. So konnte durch die Anwendung von Magnetfeldern, die in definierter Weise inhomogen gestaltet waren, dem Signal eine Ortsinformation aufgeprägt werden, welche es ermöglichte, das Kernspinresonanzsignal dem Entstehungsort des Signals zuzuordnen. Damit konnte erstmals demonstriert werden, daß die in der Kernspinresonanz erfaßten Größen (Kerndichte, Relaxationzeiten) einer ortsabhängigen bildlichen Darstellung zugänglich sind (Schörner, 1988).

Durch Lauterbur (1973) wurde in den USA das erste MRT-Bild einer Maus angefertigt. Damadian et al. (1976) gelang es in den USA, die In-vivo-Abbildung eines Malignoms bei einer Maus und erstmals die In-vivo-Abbildung des menschlichen Thoraxes mit einem supraleitenden Magneten. Mit der Gründung zahlreicher klinischer Zentren und der Installation von Prototypen namhafter Hersteller konnte die Eignung des neuen Untersuchungsverfahrens für die Diagnostik von unterschiedlichen Krankheitsbildern auf einer breiten Basis ausgiebig studiert werden. 1983 wurde mit der industriellen Fertigung von Kernspintomographen begonnen. Damit setzte auch der industrielle Vertrieb und die Verbreitung solcher komplexen Geräte an Universitäten, Kliniken und der freien Praxis ein. Dies war auch mit einer stürmischen Forschung und Entwicklung auf dem Technologie- und Herstellungsektor verbunden (Lissner u. Seiderer, 1990).

Als besonderen Vorteil der Kernspintomographie bei der Bildgebung erwies sich der große Kontrastumfang der Methode. Dies hat auch dazu geführt, daß Kontrastmittel relativ spät entwickelt wurden. Durch kernspintomographische Parameter läßt sich die Morphologie des Organismus relativ genau darstellen. Die Abgrenzung eines pathologischen Prozesses im gesunden Gewebe, eigentlich oberstes Ziel eines bildgebenden Verfahrens, wurde so noch weiter verfeinert. Mit der Verbesserung der Meßtechnik, neuen leistungsfähigen Computerprogrammen und der Entwicklung neuer Kontrastsubstanzen wurde es möglich, Tumore von wenigen Millimetern im Durchmesser nachzuweisen.

Im November 1983 erfolgte am Berliner Klinikum Charlottenburg eine erste Anwendung des Kontrastmittels Gadolinium-DTPA (Schering, Berlin) am Menschen. So wurde Kontrast, Auflösungsvermögen und Detailerkennbarkeit immer weiter erhöht. Heute ist in der Humanmedizin die Kernspintomographie ein wichtiges diagnostisches Mittel.

Durch die ständige technische Weiterentwicklung sind die Anwendungsmöglichkeiten dieses bildgebenden Verfahrens noch lange nicht an ihre Grenzen gelangt. Für die Zukunft läßt der Einsatz neuer Oberflächenspulen, Supraleiter und umfangreicherer Computerprogramme nur erahnen, welches Potential sich hinter dieser Technologie verbirgt. Da die Medizintechnik heute von weltweit agierenden Unternehmen vorangetrieben wird und sich in verschiedenen Ländern Zentren der Kernspintomographie entwickelt haben, sind für das gleiche Verfahren verschiedene Bezeichnungen gebräuchlich:

- Magnetresonanztomographie (MRT),
- Nuclear magnetic resonance tomography (NMRT),
- Magnetic resonance imaging (MRI),
- Kernspintomographie (KST),
- Kernspinresonanz-Tomographie (KSRT),

Im angloamerikanischen Raum ist das magnetic resonance imaging (MRI) der gebräuchlichste Ausdruck, wobei sich die amerikanische Röntgengesellschaft mit der Deutschen Röntgengesellschaft auf die Bezeichnung Magnetische Resonanz-Tomographie (MR-Tomographie, bzw. MRT) geeinigt haben. In den deutschsprachigen Ländern ist der Begriff "Kernspintomographie" am häufigsten.

2.1.2 Physikalische Grundlagen

2.1.2.1. Kernspin und Magnetisierung

Die Kernspintomographie ist ein bildgebendes Verfahren, mit dessen Hilfe Schichtbilder des Körpers gewonnen werden können, wobei die Grundlage jedoch nicht Röntgenstrahlen, sondern Magnetfelder sind. Wie alle anderen bildgebenden Verfahren in der medizinischen Diagnostik nutzt auch die Kernspintomographie die Wechselwirkung eines Meßobjekts, des menschlichen Körpers, mit einem Strahlenfeld.

Die physikalische Grundlage ist die Tatsache, daß sich alle Atomkerne mit ungerader Protonen- und / oder Neutronenzahl um ihre eigene Achse drehen. Diese Eigenrotation wird als Kernspin bezeichnet. Dies sind ca. zwei Drittel aller Isotope (Isotope: Atomkerne eines chemischen Elementes mit gleicher Ordnungszahl, aber unterschiedlicher Massenzahl. Etwa 280 unterschiedliche stabile Isotope sind bekannt). Folgende Elemente kommen im menschlichen Organismus mit diesen Eigenschaften am häufigsten vor: Wasserstoff, Stickstoff, Phosphor und Natrium. Da Zellen zum größten Teil aus Wasser bestehen, ist der Anteil des Wasserstoffs als Isotop mit einem Kernspin am größten (Lissner u. Seiderer, 1990).

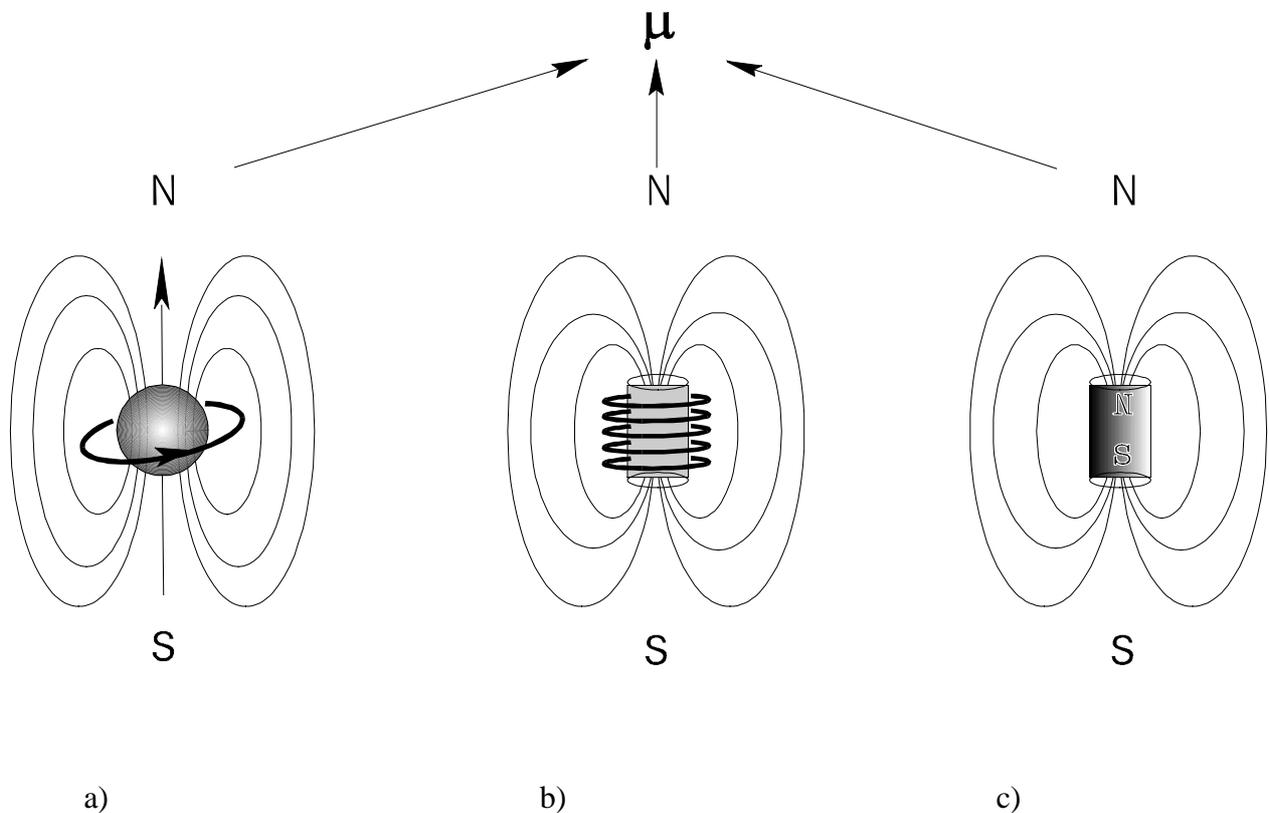


Abb. 1) a–c Beispiele für magnetische Dipolfelder (nach Lissner u. Seiderer, 1990)

Magnetisches Dipolfeld von einem

a) Kernspin

b) Elektromagneten

c) Stabmagneten

Durch die Rotation der Kernladung entsteht ein Ringstrom der ein Magnetfeld analog einer stromdurchflossenen Spule erzeugt. Damit wird die Kernspintomographie derzeit fast

ausschließlich auf der Basis einer Wasserstoff- (Protonen) -Bildgebung betrieben. Der Atomkern trägt eine positive elektrische Ladung, so daß mit der Atomkernbewegung die Ausbildung eines Magnetfeldes verbunden ist. Wie bei einer stromdurchflossenen Spule entsteht somit um den Atomkern ein magnetisches Feld. Äquivalent einem Stabmagneten wird dieses magnetisches Feld in Stärke und Richtung durch ein magnetisches Moment μ definiert. Wie alle Magneten haben so auch die Atomkerne einen Nord - und einen Südpol. Unter Normalbedingungen sind die Atomkerne nicht alle in gleicher magnetischer Richtung ausgerichtet, sondern völlig ungeordnet. Durch das Anlegen eines äußeren Magnetfeldes erfahren die in diesem Magnetfeld gelegenen Atomkerne eine gleichförmige Ausrichtung, wobei etwa die Hälfte nach dem Nordpol, die andere nach dem Südpol ausgelenkt wird. So nehmen die Atomkerne einen geordneteren Zustand ein: sie richten sich parallel bzw. antiparallel zum äußeren Magnetfeld aus. Einige wenige Atomkerne werden sich nicht ausrichten, wodurch eine zusätzliche magnetische Wirkung nach außen entsteht; dieses zusätzliche Magnetfeld ist zwar klein, kann aber doch gemessen werden.

Die um ihre eigene Achse rotierenden Atomkerne führen beim Eintritt in das angelegte äußere Magnetfeld eine Kreisbewegung aus, sie präzedieren (kreiseln) phasensynchron um die Magnetfeldachse des außen anliegenden Magnetfeldes (Vogl u. Balzer, 1991).

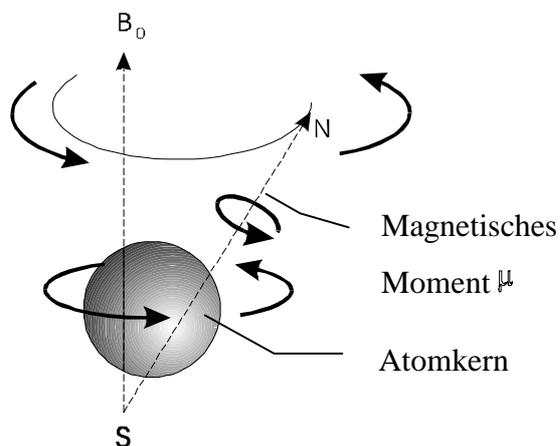


Abb. 2) Spinpräzession (nach Rinck et al., 1986)

Der rotierende Atomkern erzeugt ein magnetisches Moment μ . In Anwesenheit eines äußeren Magnetfeldes B präzediert dieses magnetische Moment in einem konstanten Winkel, analog einem Kreisel, um die Richtung des äußeren Magnetfeldes.

Die Präzessionsfrequenz (auch Kreisel-, Taumel- oder Larmorfrequenz) ist dabei abhängig von der Stärke des anliegenden Magnetfeldes und von dem Atomkern (Krestel, 1988). Energetisch betrachtet hat die parallele Anordnung der Atomkerne ein niedrigeres Energieniveau als die antiparallele Ausrichtung. Bei Raumtemperatur wird dem Körper thermische Energie

zugeführt. Deshalb nehmen 50 % der Spins die antiparallele Lage ein. Bei Zufuhr von weiterer Energie klappen die noch parallel angeordneten Kerne ebenfalls in die antiparallele Lage. Diese Energie wird durch eine hochfrequente, der Präzessionsfrequenz entsprechende, elektromagnetische Strahlung induziert. Nach der Energiezufuhr klappen die Kerne wieder in die Gleichgewichtslage zurück, welche sie vor der Energiezufuhr einnahmen (Vogl u. Balzer, 1991). Bei der Relaxation (Zurückklappen) der Spins wird Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung abgegeben, da die Gleichgewichtslage ein energetisch niedrigeres Niveau besitzt. Diese elektromagnetische Strahlung oder besser, dieses Resonanzsignal, kann mit geeigneten Empfangsspulen gemessen werden. Dabei lassen sich der Verlauf und die Geschwindigkeit der Spinrelaxation auswerten.

2.1.2.2. Resonanzanregung und Relaxation

Die Differenz der antiparallel und parallel kreiselnden Kerne ergibt die Nettomagnetisierung eines Körpers in einem Magnetfeld. Bei einer magnetischen Induktion von 0,5 bis 2,0 Tesla und Raumtemperatur liegt zwar der Anteil der zur Nettomagnetisierung beitragenden Atome nur bei ca. 0,001 %, jedoch immer noch ausreichend hoch, um eine meßbare Magnetisierung des Körpers zu erreichen. Zur Anregung dieser Kerne wird eine hochfrequente elektromagnetische Strahlung, deren Frequenz mit der Präzessionsfrequenz übereinstimmt, eingesetzt, durch die diese Kerne aus der parallelen in die höherenergetische antiparallele Lage umklappen. Von der Lage des Zeitintervalls, in dem die Strahlung auf den Körper einwirkt, hängt die Anzahl der bei Energiezufuhr umklappenden Kerne ab. Weiterhin muß die Energie senkrecht zur Magnetfeldebene einstrahlen. Voraussetzung für die Energieabsorption ist die Phasenkohärenz der kreiselnden Spins. Diese Synchronisation erfolgt bei Aussendung der Hochfrequenzstrahlung. Um die nun ablaufenden Vorgänge zu veranschaulichen, nimmt man sich ein x-y-z-Koordinatensystem zu Hilfe. Wählt man als Magnetfeldachse die z-Achse, so wirkt die Strahlung in der x-y-Ebene. Mit Zunahme der Phasenkohärenz wächst die ursprünglich Null betragende Magnetisierung in der x-y-Ebene an, womit der Nettomagnetisierungsvektor von der z-Achse in die x-y-Ebene wandert. Ist das Zeitintervall der Energiestrahlung so gewählt, daß exakt die Hälfte der resonanzfähigen Spins umgeklappt sind, so entspricht die Nettomagnetisierung in der z-Achse Null und der Nettomagnetisierungsvektor liegt in der x-y-Ebene.

Dieser Vorgang wird 90°-Impuls genannt. Bei der Verlängerung des Zeitintervalls bis die resonanzfähigen Kerne umgeklappt sind, handelt es sich um einen 180°-Impuls, da nun der Nettomagnetisierungsvektor antiparallel zum außen liegenden Magnetfeld in der z-Achse liegt. Die maximal zuführbare Energie entspricht dem 180°-Impuls (Vogl u. Balzer, 1991).

In der Kernspintomographie kommen vorwiegend der 90°- und der 180°-Impuls zur Anwendung. Wird als Anregungssignal ein 90°-Impuls verwandt, klappt der Magnetisierungsvektor in die x-y-Ebene. Die Aussendung des Relaxationssignals erfolgt dabei unmittelbar nach Beginn des Anregungssignals. Bei dieser Relaxation oder Rückkehr in den Wärmegleichgewichtszustand wird die elektromagnetische Energie, welche die Kerne zuvor aufgenommen haben, bei der gleichen Frequenz wieder abgegeben. Dieser Vorgang kann mit einer Spule festgestellt werden. In dieser Spule wird dabei eine Spannung induziert, welche das eigentliche MR-Signal darstellt. Da die Magnetfeldstärke die Resonanzfrequenz bestimmt, kreiseln die angeregten Kerne an verschiedenen Orten der Probe mit unterschiedlichen Frequenzen. Daher liegt in den Resonanzfrequenzen die räumliche Information verschlüsselt und das Frequenzspektrum beschreibt somit die räumliche Verteilung der Protonen.

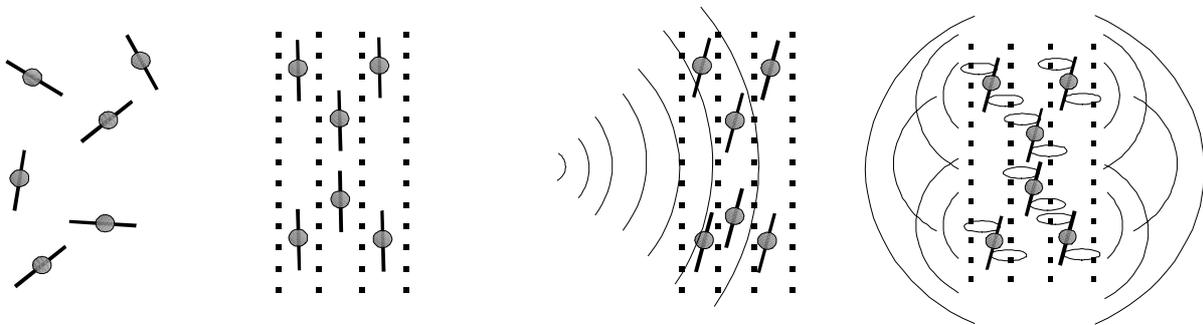


Abb.3) Ereignisablauf bei der magnetischen Resonanz (Philips, 1989)

a)	b)	c)	d)
im freien Raum,	Atomkerne,	Resonanzanregung	Atomkerne geben Energie
regellos orientierte	ausgerichtet an	der Atomkerne durch	in Form eines meßbaren
Atomkerne	einem äußeren	einen Hochfrequenz-	Relaxationssignales ab
	Magnetfeld	impuls	

Die Intensität des Relaxationssignals steigt stetig an und erreicht ihr Maximum am Ende der

Einstrahlung des Anregungssignals. Danach zerfällt die Magnetisierung wieder und die Intensität des Relaxationssignals nimmt ab, bis bei Erreichen des Gleichgewichtszustandes der Kernspins kein Signal mehr meßbar ist. In der Praxis wechseln Hochfrequenzanregung und Messung ununterbrochen ab. Aus dem Verlauf des Relaxationssignals läßt sich die Spindichte, die longitudinale Relaxationszeit T1 und die transversale Relaxationszeit T2 ableiten. Dabei beschreiben die Relaxationszeiten T1 und T2 die Magnetisierungsänderungen in der z-Ebene und in der x-y-Ebene während und nach der Einstrahlung eines Anregungssignals (Vogl u. Balzer, 1991). Die T1-Zeit ist bedingt durch die Wechselwirkung zwischen den magnetisierten Atomkernen mit ihrer Umgebung (Spin-Gitter-Relaxationszeit). Die stets kürzer als die T1- ablaufende T2-Zeit entsteht durch die gegenseitige Beeinflussung der Atomkernmagnete bestimmter Gruppen (Spin-Spin-Relaxationszeit). Die unterschiedlichen Relaxationszeiten der Atome von verschiedenen Geweben und Organen ermöglichen nach der Bildverarbeitung so eine exakte hochauflösende Darstellung und genaue Zuordnung. Die Signalausstrahlung kann deutlicher gemacht werden, indem die T1-Zeit betont wird. Dies wird durch eine entsprechende magnetische Anregung der Atomkerne kurz vor der Messung erreicht, die dadurch im Prinzip auf den Kopf gestellt werden. Dieses Verfahren wird als Inversion-Recovery bezeichnet. Die Lokalisation bei einer Magnetresonanz-Messung wird durch drei aufeinander senkrecht stehende, räumlich linear veränderliche Magnetfelder ermöglicht. Diese Gradientenfelder werden ebenfalls mit stromdurchflossenen Spulen erzeugt und dem statischen Magnetfeld überlagert (Reiser u. Semmler, 1992). Richtet man diese Gradientenfelder nach der Körperachse eines Patienten aus, entstehen in einzelnen Scheiben des Körpers jeweils konstante magnetische Feldstärken. Danach wird die Hochfrequenzanregung umgeschaltet, so daß das Magnetfeld gedreht wird. Dadurch entstehen meßbare Magnetstreifen in beliebigen Schnittebenen, wobei eine Lageveränderung des Patienten nicht erforderlich ist. Mit aufwendigen Computerprogrammen werden diese Signale schließlich in Bilder (aus Pixeln bestehend) umgewandelt. Für die Ortskodierung und damit den Bildaufbau werden vier Verfahren genutzt. Dies sind die Punkt-, Linien-, Schicht- und die Volumentechnik. Allen Verfahren ist gemeinsam, daß der Bildinhalt, wie auch bei anderen digitalen Techniken, in Form einer Matrix aus einzelnen Bildelementen (Pixel) dargestellt wird. Das gemessene Resonanzsignal entspricht in allen Fällen einem dreidimensionalen Volumenelement (Voxel) mit definierten Dimensionen (Lissner u. Seiderer, 1990).

Da die Signalintensität des Resonanzsignals der Zahl der resonanzfähigen Kerne und damit dem durch die Gradientenfelder angewählten Volumen proportional ist, unterscheiden sich die einzelnen Techniken bezüglich des Zeitaufwandes zur Bilddarstellung beträchtlich.

2.1.2.3. Bestimmende Parameter für die MRT-Aufnahmetechnik

Für den Aufbau eines MR-Bildes sind frei wählbare (extrinsische) und gewebespezifische (intrinsische) Aufnahmeparameter zu unterscheiden. Dies ermöglicht die Abgrenzung unterschiedlicher Gewebe, wie Muskel-, Knochen- und Fettgewebe sowie Körperflüssigkeiten (Blut, Liquor cerebrospinalis).

Gewebespezifische (intrinsische) Bildparameter sind:

- a) Spin-Gitter-Relaxationszeit T1 - Stärke der magnetischen Kopplung der Wasserstoffatomkerne an die molekulare Umgebung
- b) Spin-Spin-Relaxationszeit T2 - Beziehung der Protonen untereinander
- c) Protonendichte - Konzentration bzw. Dichte der signalgebenden Wasserstoffatome im Gewebe
- d) Fluß- oder Diffusionseffekte - kollektive Bewegung der Atomkerne z.B. Blutfluß

Neben der variablen Schnittführung ist der ausgezeichnete Weichteilkontrast der rekonstruierten MR-Bilder einer der Hauptvorteile der MR-Tomographie. Er beruht im wesentlichen auf den unterschiedlichen Relaxationszeiten T1 und T2 der Gewebe, die in komplexer Weise die Wechselwirkung der Wasserstoffatomkerne mit ihrer Umgebung widerspiegeln. Unterschiede in den Protonendichten ρ spielen zumindest bei den Weichteilgeweben eine untergeordnete Rolle. Weiterhin stellen Flußeffekte einen wichtigen Kontrastfaktor dar. So wird durch das kollektive Strömungsverhalten der Kerne bei strömendem Blut das MR-Signal beeinflusst. Dieses Phänomen wird bei der MR-Angiographie genutzt. Während der Bildkontrast eines Computertomographie-Bildes nur von der Elektronendichte der betrachteten Gewebe abhängt, wird das Kernresonanzsignal und damit der Charakter des MR-Bildes sowohl durch die intrinsischen Gewebeparameter ρ , T1 und T2 als auch durch die Art der verwendeten Impulsfolge und der entsprechenden Aufnahmeparameter bestimmt.

Frei wählbare (extrinsische) Aufnahmeparameter sind:

- a) Pulssequenztyp
 - konventionelle Techniken, wie die Saturation-Recovery-Technik, die Inversion-Recovery-Technik und die Spin-Echo-Technik;
 - Schnellbildtechniken, wie die Gradienten-Echo-Technik und die Echo-Planar-Technik
- b) Repititionszeit TR
 - Intervall zwischen dem Anfang einer Impulssequenz und dem Beginn der nachfolgenden Sequenz
- c) Echozeit TE
 - Zeitpunkt des Echoauslesens; Intervall zwischen dem 90°-Impuls und dem Peak des Echos
- d) Signal-Rausch-Verhältnis
 - Wird durch Parameter, wie Schichtdicke d , Meßfeld FOV, Anzahl der Phasencodierschritte und Anzahl der Akquisitionen bestimmt.
- e) Magnetfeldstärke
 - Bei Erhöhung der magnetischen Flußdichte B steigt auch das Signal-Rausch-Verhältnis, doch wird die Bildgebung durch Artefakte aufgrund der chemischen Verschiebung und Bewegungsartefakte (Atmung etc.) begrenzt.

Diese Variabilität des MR-Signals bietet die Möglichkeit, durch geschickte Wahl der Impulsfolge und der Aufnahmeparameter den Bildkontrast zwischen bestimmten Gewebestrukturen zu optimieren, um auf diese Weise eine optimale Differenzierung zwischen ausgewählten Gewebestrukturen zu erreichen. Doch bringt das Zusammenspiel dieser vielen Parameter die Gefahr von Fehlinterpretationen, denn gleiche Bildsignalintensitäten lassen nicht auf gleiche Gewebe schließen. Daher werden in der Praxis zu einer abzubildenden Schicht immer mehrere Bilder mit unterschiedlichen Aufnahmeparametern gemacht, damit der Bildkontrast der einzelnen Bilder hauptsächlich durch einen einzigen Gewebeparameter bestimmt wird. Als Ergebnis entstehen T1-, T2- oder p- gewichtete Bilder. Aus der Art und Weise wie sich eine Gewebestruktur auf den gewichteten MR-Aufnahmen darstellt, kann im nachhinein in etwa auf die Gewebeparameter T1, T2 und p geschlossen werden (Reiser u. Semmler, 1992).

Es besteht auch die Möglichkeit, aus mehreren MR-Bildern, welche mit unterschiedlichen Aufnahmeparametern aufgenommen wurden, „reine“ T1-, T2- oder p-Parameterbilder zu berechnen. Diese errechneten Parameterbilder weisen einen höheren Bildkontrast auf als gewichtete Aufnahmen. Der Anwender der Kernspintomographie muß genaue Kenntnis von der Abhängigkeit des Bildkontrastes von der gewählten Bildgebungssequenz und von den internen und externen Parametern haben, um das diagnostische Potential dieser Technik voll ausschöpfen zu können und gute, detailgetreue Aufnahmen zu erstellen.

2.1.3 Darstellung der verschiedenen Gewebe

Die Deutung der bei der Kernspintomographie errechneten Bilder ist ungleich schwieriger als die Beurteilung von Computertomogrammen. Die Bestimmung der drei Gewebeparameter, der Spindichte (Protonendichte) sowie der Relaxationszeiten T1 und T2 ermöglicht die Typisierung der verschiedenen, biologischen Gewebe. Diese drei Parameter liefern Aussagen über die biochemische Umgebung der relaxierenden Atomkerne und charakterisieren damit das untersuchte Volumen. Selbst die Spindichte als primär rein physikalische Größe (Spins/Volumeneinheit) ist ein biochemischer Parameter, da nicht alle Spins, abhängig von ihrer chemischen Bindung, zur Relaxation beitragen (Markmiller, 1991).

Die Signalintensität in der Kernspintomographie ist abhängig von der Wasserstoffdichteverteilung im Körper und den Relaxationsparametern T1 und T2. Mit Hilfe der einzelnen Signalparameter lassen sich auch krankhafte Veränderungen (z.B. Tumore etc.) der verschiedenen Körpergewebe diagnostizieren. Diese Differenzierung wird durch den unterschiedlichen Gehalt an Wasserstoffatomen im kranken Gewebe im Vergleich zum gesunden Gewebe ermöglicht. So ist die T1- und T2-Zeit verschiedener Gewebe unterschiedlich, so daß die Darstellung bei T1 verschieden zu der von T2 sein kann. Wenig Wasserstoffatome enthaltene Strukturen, wie z.B. Liquor, Luft oder Knochen werden schwarz bzw. dunkel dargestellt, weil von ihnen kaum ein Magnetsignal ausgeht. Weiterhin wird vom strömenden Blut kein Kernspin-Resonanzsignal hervorgerufen, weil die magnetisch ausgerichteten Atomkerne weiter transportiert werden. Fett, das einen sehr hohen Wasserstoffgehalt hat, erscheint hell bzw. weiß und damit echointensiv. Ein weiterer großer Vorteil ist die Darstellungsmöglichkeit kleinster isodenser Strukturen (ab ca. 1mm Durchmesser), wie z.B. Herde der multiplen Sklerose.

In den folgenden Tabellen bzw. Abbildungen sollen die Unterschiede in der Wasserstoffdichte-Verteilung verdeutlicht werden.

Tab. 1 Wassergehalt verschiedener Gewebearten des Menschen (Roth, 1984)

Gewebe	Wassergehalt in %
Skelettmuskel	79
Herz	79 – 80
Leber	71
Niere	81
Milz	79
Hirngewebe -weiß	84
-grau	70 – 74
Epidermis	65
Zahn	3 – 10
Plazenta (20 – 40 Wochen)	87

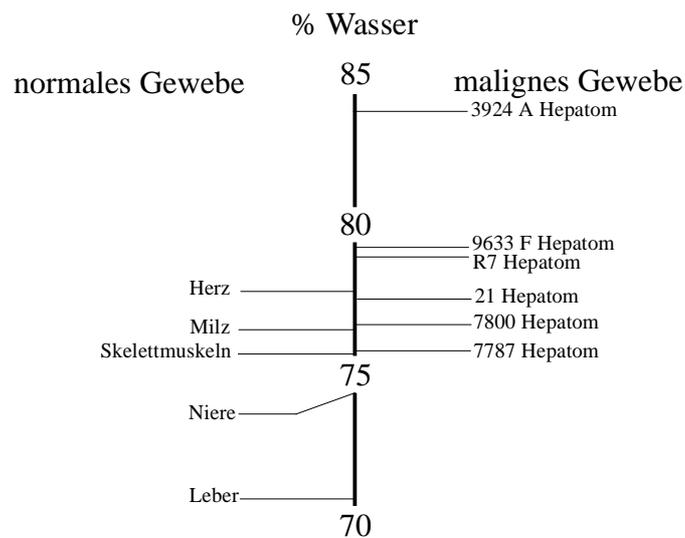


Abb. 4 Wassergehalt verschiedener normaler und maligner Gewebe der Ratte (Wenz, 1988)

Das Signalverhalten der unterschiedlichen Gewebe wird durch verschiedene Begriffe beschrieben. Ein der Referenzstruktur gleiches Signalverhalten bezeichnet man als isotens, eine niedrigere oder höhere Signalintensität als die Referenzstruktur dagegen als hypointens bzw. hyperintens.

Tab. 2 Referenzstrukturgebundene Signalintensitätsskala zur semiquantitativen Auswertung (Braitinger u. Pahnke, 1995)

T1-gewichtete MR-Tomogramme	Nomenklatur
S1 = kompakter Knochen	hypointens (vgl. S2)
S2 = Muskulatur	isointens / intermediär
S3 = Mukosa	(vgl. S2)
S4 = Drüsenparenchym (Gl. parotis)	
S5 = Fettgewebe	hyperintens (vgl. S2)
S6 = Metallartefakt (höhere SI als Fettgewebe)	

T2-gewichtete MR-Tomogramme	Nomenklatur
S1 = kompakter Knochen	hypointens (vgl. S2)
S2 = Muskulatur	isointens / intermediär
S3 = Mukosa (nativ)	(vgl. S2)
S4 = Drüsenparenchym (Gl. parotis)	
S5 = Liquor	
S6 = Blut (unter speziellen Bedingungen)	hyperintens (vgl. S2)

Kontrastmittel verändern ebenfalls die Signalintensität. Substanzen, die die Gewebeparameter und damit die Bildkontraste in der MRT verändern, können als MRT-Kontrastmittel gelten. Kontrastmittel beeinflussen die Protonenspindichte und die Relaxationszeiten des Gewebes.

Eine Änderung der Protonenspindichte kann entweder durch das Hinzufügen von Substanzen mit hoher Wasserstoffatomkerndichte (z.B. orale Applikation von ölhaltigen Stoffen) oder den Ersatz von Wasserstoffatomkernen (z.B. Deuterium) erfolgen.

Wesentlich intensiver ist die Änderung der MRT-Kontraste durch Substanzen, die die Relaxationszeiten beeinflussen. Diese Substanzen gehören zu den paramagnetischen Verbindungen. Paramagnetische Mittel verkürzen die Relaxationszeiten T1 und T2 der umgebenden Wassermoleküle. Während die T1-Verkürzung zu einer Signalintensitätszunahme in den klinisch gebräuchlichen MRT-Aufnahmen führt, bedingt die T2-Relaxationsverkürzung einen Signalitätsverlust. Durch die geeignete Wahl von Aufnahmesequenzen, die die T1-Relaxationszeit des Gewebes im Kernspintogramm betonen, kann durch die Applikation paramagnetischer Substanzen eine diagnostisch gewünschte Signalintensitätszunahme durch T1-Relaxationszeitverkürzungen im Verteilungsraum der paramagnetischen Substanz erzielt werden (Schörner, 1988).

So reichern sich spezielle Kontrastmittel, wie Gadolinium-DTPA, in Tumoren an und erhöhen in diesen Strukturen die Signalintensität und damit auch die Darstellbarkeit.

Muskulatur

Die Skelettmuskulatur ist das größte Weichteilorgan des Körpers. Normale Muskulatur erscheint sowohl in den T1w- als auch in der pw- und T2w-SE-Sequenzen mit homogener niedriger Signalintensität. Die Muskulatur erscheint signalarm und hebt sich dadurch gut gegen umgebendes signalintensives Fettgewebe ab (Lissner u. Seiderer, 1990).

Der Kontrast zwischen Muskulatur und Fettgewebe ist aufgrund der großen Differenz zwischen den T1-Relaxationszeiten von Muskel und Fett im T1w-Bild am größten. Es ist nicht möglich, die unterschiedliche Verteilung von Muskelfasern in den Muskelgruppen mit der MRT zu erfassen.

Knochen und kollagene Strukturen

Die Kortikalis wird ebenso wie das straffe Bindegewebe (Gelenkkapsel, Bänder, Menisci) mangels mobiler Protonen als signallose Struktur dargestellt. So dienen die umgebenden signalintensiveren Strukturen wie Knochenmark, Fettgewebe oder Gelenkflüssigkeit der

indirekten Darstellung dieser signallosen Gewebe. Man kann auch die spongiöse Knochensubstanz von der kompakten Knochensubstanz unterscheiden.

Die Signalintensität des Knochenmarks ist vom Gehalt an hämatopoetischen und Fettzellen abhängig und zeigt altersabhängige Veränderungen. Im T1w-SE-Bild zeigt das Knochenmark eine hohe Signalintensität. Wichtige Unterschiede bestehen bei der Darstellung von hyalinem Knorpel, Gelenkerguß und Knochenmark. Der hyaline Gelenkknorpel zeigt im T1w-SE-Bild eine intermediäre Signalintensität. In protonengewichteten Sequenzen ist ein höheres Knorpelsignal feststellbar, wobei wie in T1w-SE-Sequenzen keine sichere Unterscheidung von synovialer Flüssigkeit möglich ist. Bei T2w-SE-Sequenzen ist keine klare Signaldifferenz zwischen Gelenkknorpel und subchondralem Knochen gegeben (Reiser u. Semmler, 1992).

Fettgewebe

Das Fettgewebe hat auf einen T1w-SE-Bild eine hohe Signalintensität. Auf T2w-SE-Bildern wird diese aber geringer.

Luft

Luftgefüllte Räume im Körper (z.B. Nasennebenhöhlen) lassen sich gut darstellen. Luft wird schwarz bzw. dunkel dargestellt, da von ihr kein Magnetsignal ausgeht.

Genau wie bei der Darstellung von Knochen kann man die Grenze der lufthaltigen Räume mit Negativkontrast erkennen.

Gehirn

Das normale Erscheinungsbild zerebraler Strukturen kann sich durch Modifikation der Aufnahmeparameter völlig verändern. So verwendet man heute häufig T1-betonte Sequenzen (SE-Sequenz mit kurzer Repetitionszeit und kurzer Echozeit, IR-Sequenz) oder T2-betonte Sequenzen (SE-Sequenz mit langer Repetitionszeit und langer Echozeit, Multi-Echo-Verfahren). T1-gewichtete Verfahren, insbesondere IR-Sequenzen mit starker T1-Abhängigkeit, führen zu einem hohen Kontrast zwischen grauer und weißer Substanz.

Aufgrund der schnelleren T1-Relaxation der weißen Substanz wird diese mit T2-gewichteten Sequenzen mit höherer Signalintensität als die graue Substanz abgebildet. Die graue Substanz mit längerem T1 erscheint grau und der Liquor, der ein langes T1 besitzt, wird schwarz abgebildet. Der hohe Kontrast zwischen weißer und grauer Substanz bietet eine exzellente Darstellung anatomischer Strukturen. Die zusätzliche Möglichkeit der sagittalen und frontalen Schnittführung führt zu Bildern, die makroskopisch - anatomischen Schnitten ähnlich sind. Die gute anatomische Detailerkennbarkeit ist wertvoll bei der Lokalisation und Beurteilung raumfordernder Prozesse beim Menschen. Hier erhöht auch der Einsatz von Kontrastmitteln den diagnostischen Wert. Bei einer T2-betonten SE-Sequenz werden Prozesse mit kurzer T2-Zeit dunkler, Prozesse mit langer T2-Zeit heller abgebildet als normales Hirngewebe. Die graue Substanz erscheint hier weiß, die weiße Substanz grau (Lissner u. Seiderer, 1990). In der Humanmedizin kommt dieser Sequenz bei der Screening-Diagnostik zerebraler pathologischer Veränderungen die größte Bedeutung zu.

Blutgefäße

Von besonderem Wert ist der hohe intrinsische Kontrast zwischen strömendem Blut, das mit SE- und IR-Sequenzen in der Regel intensitätslos abgebildet wird, und soliden Strukturen. Hierdurch lassen sich Gefäße darstellen, jedoch in Abhängigkeit vom verwendeten Spulentyp, aber auch der jeweiligen Aufnahme-Sequenz, der Blutflußgeschwindigkeit und der Blutflußrichtung. Während Gefäßwände im allgemeinen nur mit geringem Kontrast zu den umgebenden soliden Geweben abgrenzbar sind, ist im Thoraxbereich die Abgrenzung der Gefäßwände sowohl vom durchströmten Lumen als auch vom perivaskulären Gewebe gut möglich. Ursächlich ist zum einen der hohe Kontrast zum Lungengewebe, das sich infolge des hohen Luft- und geringen Weichteilgehaltes, ähnlich strömendem Blut, fast intensitätsfrei abgebildet, zum anderen der geringe Gehalt des Mediastinums an soliden Strukturen (Lissner u. Seiderer, 1990).

Lymphknoten

Lymphknoten haben auf T1w- Aufnahmen eine mittlere Signalintensität, so daß die Abgrenzung von den signalfreien Gefäßen und von signalintensivem Fettgewebe

problemlos gelingt. Auf T2w- Aufnahmen zeigen die Lymphknoten einen deutlich geringeren Kontrast zum Fettgewebe. Krankhafte Vergrößerungen von Lymphknoten ab einem Durchmesser von 5-10 mm lassen sich gut feststellen, wobei hier auch das umliegende Fett- und Muskelgewebe die Differenzierung unterstützen.

2.1.4 Biophysikalische Wirkungen und gesundheitliche Risiken

Der entscheidende Vorteil der Magnetresonanztomographie, im Vergleich zur Computertomographie oder Positronenemissionstomographie, ist der Wegfall der ionisierenden Strahlung mitsamt ihren Risiken. In der klinischen Praxis der MRT werden Patienten einer Kombination aus drei verschiedenen Gruppen magnetischer und elektromagnetischer Felder ausgesetzt, die dabei unterschiedliche Wirkungen auf den Organismus haben. Bei dieser Untersuchungsmethode wirken ein statisches Magnetfeld, zeitlich und räumlich veränderliche Magnetfelder und Hochfrequenzfelder auf den Patienten. Bei statischen Magnetfeldern konnten bisher keine nachteiligen Wirkungen auf den Menschen festgestellt werden. Jedoch muß man anmerken, daß keine Langzeitstudien zu akuter und chronischer Exposition vorliegen. Man ist sich heute noch nicht einig, ab welcher Stärke ein Magnetfeld in der Lage ist, den Organismus zu beeinflussen. National und international wurden schon Grenzwerte für statische Magnetfelder bei der MRT festgelegt. Die Grundlagenforschung zu gesundheitlichen Risiken wird weiter betrieben. Physiologische und biologische Wirkungen statischer Magnetfelder sind proportional der magnetischen Induktion. Bei der medizinisch angewandten MRT beträgt die Feldstärke 0,02 bis 2,0 T.

So sind statische Magnetfelder in der Lage, Drehmomente an einigen Zellbausteinen bzw. Zellverbänden zu induzieren, wobei dieser Effekt auf der Anisotropie der diamagnetischen Suszeptibilität von verschiedenen Zelleinheiten beruht. Im Experiment wurden reversible Effekte bei Chloroplasten, Sichelzellen und Stäbchenzellen der Retina ab 0,35 bis 1,0 T gefunden. Statische Magnetfelder können auf bewegte Volumenleiter, wie fließendes Blut, elektrische Potentialdifferenzen induzieren, welche abhängig sind von der magnetischen Induktion, der Flußgeschwindigkeit des Blutes und dem Gefäßdurchmesser. Experimentell wurden an großen Arterien des Menschen Potentialdifferenzen bis zu 16 mV gemessen. Auch wurden durch verschiedene Arbeitsgruppen Veränderungen des EKG (Abnormalität der T-Welle) bei Testpersonen festgestellt, welche dem Magnetfeld exponiert wurden.

Weitere Untersuchungen am Erregungsbildungs- und Erregungsleitungssystem des Herzens bei der MRT sind erforderlich. Die Untersuchungen zur Nervenleitungsgeschwindigkeit im statischen Magnetfeld sind eher theoretischer Natur. Es wurde festgestellt, daß ca. 24 T notwendig sind, um eine Abnahme der Nervenleitungsgeschwindigkeit um 10 % zu bewirken. Bei den derzeitigen Techniken werden maximal 2,0 T verwandt, so daß dieser Effekt zu vernachlässigen ist.

Dagegen ist die Kraftwirkung auf metallische Implantate viel stärker, da im homogenen Magnetfeld auf ferromagnetische Objekte Drehmomente und Verschiebungskräfte wirken. So kann die Elektrodenlage von Herzschrittmachern im Herzen lebensbedrohlich verändert werden. Auch an ferromagnetischen Clips im Gehirn (z.B. Aneurisma-Clips) können Kräfte wirken, die eventuell traumatische Schädigungen hervorrufen. Granatsplitter oder Osteosynthese-Implantate können im Magnetfeld beschleunigt werden, was zu Schäden führen kann. Interessant sind Tierexperimente, welche das Reproduktionsverhalten von in Magnetfelder verbrachten Tieren beschreiben. So wurde festgestellt, daß bei der Paarung im Magnetfeld die Zahl der befruchteten Mäuse in einem Versuch von 68 % auf 21 % und im Referenzversuch von 84 % auf 59 % verringert wurde. Dieser Effekt ist jedoch bei anschließender Paarung außerhalb des Magnetfeldes vollständig reversibel. So wurden keine pathologischen Veränderungen an Gehirn, Lungen oder den Nn. optici gefunden. Auch Blutanalysen zeigten keine Veränderung.

Dynamische Magnetfelder (Zeit- und räumliche Veränderung) entstehen beim Anlegen der Gradientenfelder. Im Körper werden dabei niederfrequente elektrische Felder mit daraus resultierenden elektrischen Strömen erzeugt. Zeitliche Feldveränderungen von 3 T/s können Ströme bis zu $3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ erzeugen. Der am besten untersuchte biologische Effekt von magnetischen Feldern ist die Induktion von Lichtblitzen durch zeitlich veränderliche Felder (Lissner u. Seiderer, 1990). Diese visuellen Wahrnehmungen werden als magnetische Phosphene bezeichnet. Es kommt zu Stimulationen des N. opticus und der Retina mit Blitzerscheinungen im Auge ohne Dauerschäden. Elektromagnetische Felder mit kleiner Frequenz finden aber auch in der medizinischen Therapie ihre Anwendung. Werden Spulen in der Nähe des Frakturspaltes angebracht, soll der Heilungsprozeß durch die vermehrte Kalzium- und Kollagenproduktion beschleunigt werden (Reiser u. Semmler, 1992). Der Erfolg ist jedoch umstritten. Die vielleicht wichtigste Gefahr, die von induzierten Wirbelströmen ausgeht, ist die Anregung von Herzmuskelzellen bzw. das Auslösen von

Herzkammerflimmern. Die Gefahr des Herzkammerflimmerns besteht erst bei Stromdichten über $80 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, wobei dieser Effekt eine starke Frequenzabhängigkeit aufweist. Das Risiko wird höher, je niedriger die Frequenz wird. Der derzeitige Stand an Erfahrungen und die geringe Zahl entsprechender Studien macht das Festlegen entsprechender Grenzwerte schwierig. Deshalb haben sich in verschiedenen Ländern unterschiedliche Grenzwerte etabliert. Für die Bundesrepublik Deutschland wurde durch das BGA der Grenzwert für die Stromdichte auf $3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ festgelegt.

Um das Spinsystem anzuregen, wird bei der MRT elektromagnetische Strahlung mit der vom Magnetfeld bestimmten Frequenz eingestrahlt. Verglichen mit der Frequenz der zeitlich veränderlichen Gradientenfelder ist sie sehr groß, weshalb andere Wirkungsmechanismen zum Tragen kommen. Im Gegensatz zum statischen Magnetfeld bzw. den dynamischen Gradienten hängt die Belastung des Patienten und damit die biologische Wirkung von den Meßparametern ab, die vom Arzt gewählt werden. Bei elektromagnetischen Wellen mit einer derart hohen Frequenz sind fast ausschließlich thermische Effekte, d.h. Erwärmungen des Gewebes, zu erwarten (Reiser u. Semmler, 1992).

Durch das Hin- und Herdrehen im elektrischen Wechselfeld entstehen Reibungseffekte der Ladungsträger bzw. der Moleküle und dadurch Wärme. Jedoch ist aus Erkenntnissen der HF-Wärmetherapie an Patienten mit großen Metallteilen in Geweben, Prothesen, Granatsplittern und Osteosynthesematerial, der eindeutige Schluß zu ziehen, daß die derzeit bei der MRT verwendeten Hochfrequenzen keine Schäden verursachen. Unbestritten ist aber die Tatsache, daß sich Metallteile bei der Absorption von Hochfrequenzenergie stärker erwärmen als das Körpergewebe.

Verschiedene Experimentalgruppen befaßten sich mit chromosomalen Analysen. Es gibt jedoch derzeit keinen Anhalt für durch magnetische sowie Hochfrequenzfelder induzierte Chromosomenschädigungen. Für Deutschland gelten als Grenzwerte für den Menschen in Hochfrequenzfeldern $\text{SAR} < 5 \text{W}/\text{kg}$ für Teilkörper (außer Augen) und $\text{SAR} < 1 \text{W}/\text{kg}$ für den Ganzkörper. Bei Überschreitungen der Grenzwerte müssen das Thermoregulationssystem und das Herz-Kreislauf-System ständig kontrolliert werden (Nüsslin u. Wendhausen, 1986).

Für die diagnostische und experimentelle MRT-Untersuchung beim Tier ist eindeutig festzustellen, daß kein gesundheitliches Risiko besteht. Die MRT ist so ein schonendes Bild darstellungsverfahren mit einer eindrucksvollen Detailauflösung. Sie stellt für die Tiermedizin eine sinnvolle Bereicherung dar.

2.1.5 Anwendung in der Veterinärmedizin

Die Tiermedizin profitiert von der stürmischen Entwicklung der Kernspintomographie in der Humanmedizin. Mit fortschreitender Entwicklung werden MRT-Anlagen an Hochschulen und Instituten erneuert, die dann für die tierärztliche Diagnostik zu relativ günstigen Bedingungen zur Verfügung stehen. Dem einzelnen Praktiker wird diese Technologie wohl noch längere Zeit vorenthalten bleiben, jedoch werden sich in der nächsten Zeit größere Einrichtungen (Tierärztliche Fakultäten, Gemeinschaftspraxen) mit dieser Technik vertraut machen können.

Der Kooperation verschiedener human- und veterinärmedizinischer Einrichtungen wird ein hoher Stellenwert eingeräumt. So zeigen mehrere Wirtschaftlichkeitsanalysen (Dennis, 1993), daß eine Kostendeckung beim Betreiben einer MRT-Anlage nur im Mehrschichtbetrieb möglich ist. Je mehr Patienten eine solche Anlage nutzen, desto ökonomischer arbeitet sie. Neben der Untersuchung von Patienten besteht die Möglichkeit freie Kapazitäten für die Forschung zu nutzen. So könnte man in der Krebsforschung (Hepatom-Mäuse usw.) Tumore bei Labortieren schonend und dabei äußerst genau untersuchen. Untersuchungsverfahren, welche das schon stark beanspruchte Tier schwächen, könnte man mit dieser Technik ersetzen. Der gesamte tierexperimentelle Bereich sollte sich bei der Untersuchung von pathologischen Veränderungen an Labortieren verstärkt der MRT bedienen. Der Einsatz der MRT und der Spektroskopie kann so einen Beitrag zum Tierschutz leisten. Des weiteren sind Impulse und Anregungen zu neuen Forschungsvorhaben zu erwarten.

Im Vordergrund steht dabei das Gehirn (Brant-Zawadzki, 1988; Brawner u. Daniel, 1993; Kraft et al., 1989; Moore et al., 1991). Auch wurden Erkrankungen von ZNS und peripheren Nervensystem des Hundes mit Hilfe der MRT beschrieben (Calia et al., 1994; Dugan et al., 1993; Fike et al., 1981; Karkkainen u. Punto, 1993; Loden et al., 1983; Schwarz-Porsche, 1992). Die Darstellung anatomischer Strukturen ist mit Hilfe der MRT in eindrucksvoller Weise möglich (Assheuer u. Sager, 1997). So gibt es Veröffentlichungen zur Gehirnanatomie des Hundes und der Anatomie der distalen Gliedmaße des Pferdes (Crass et al., 1992; Davies et al., 1987; Fenny et al., 1991; Lang et al., 1988; Park et al., 1987; Salvatore et al., 1987; Stewart et al., 1992; Thiet u. Baulain, 1992). Die Kernspintomographie ist durch die hohe Auflösung und Detailtreue für die anatomische Beschreibung des Körpers fast ideal. Für die Zukunft kann man die anatomische Fachliteratur, insbesondere die Lehrbücher, mit MRT-

Aufnahmen sinnvoll ergänzen. In der klinischen Tiermedizin hat die MRT bereits international Einzug gehalten. So hat die Firma Surrey Medical Imaging Systems Ltd. aus Guildford, Großbritannien, ein MRT-System entworfen und gebaut, welches der Animal Health Trust in Newmarket, Großbritannien, einsetzt. Die 1992 erstmals eingesetzte Anlage (0,5 T supraleitender Magnet) liefert sehr gute Bilder und eröffnet den Tierärzten dieser Einrichtung weit bessere diagnostische Möglichkeiten. Der Kleintierpatient steht dabei im Vordergrund. Zusammenfassend kann man feststellen, daß die Kernspintomographie weltweit in der Tiermedizin an Bedeutung gewinnt.

Obwohl der Einsatz im klinischen Bereich noch auf wenige Einrichtungen begrenzt ist, wird in wenigen Jahren die Zahl solcher Geräte zunehmen. Die experimentelle Tiermedizin an humanmedizinischen Einrichtungen wird eine dominierende Rolle einnehmen. Der Einsatz einer solchen Technik richtet sich vor allem nach den finanziellen Gegebenheiten. Letztendlich müssen für den Anwender angewandte anatomische Untersuchungen mit Hilfe der MRT zu den entsprechenden Tierarten gemacht werden, um die Grundlagen für einen klinischen Einsatz zu schaffen.

2.2 Angewandt- und topographisch- anatomische Grundlagen der Bauchhöhle der Katze

2.2.1 Leber, Hepar

2.2.1.1 Bau der Leber

Die rotbraune, derbelastische Leber liegt fast völlig im intrathorakalen Raum der Bauchhöhle. Ihre Masse beträgt durchschnittlich 68,6 g (ca. 2,46 % der KM). Die konvexe Facies diaphragmatica schmiegt sich dem Zwerchfell so an, daß die stark vorgewölbte Zwerchfellkuppel eine deformierende Wirkung auf die Leber ausübt, die durch die tiefen Incisurae interlobares kompensiert wird. Die konkave Facies visceralis grenzt an den Magen, den Anfangsteil des Duodenums und die rechte Niere, mit der sie durch ein Band verbunden ist (Berg, 1995).

Bei der Katze unterscheiden wir einen links vom Sulcus venae umbilicalis liegenden Lobus hepatis sinister mit dem Lobus hepatis sinister lateralis und dem Lobus hepatis sinister medialis und einen rechts von der Gallenblase liegenden Lobus hepatis dexter mit dem Lobus hepatis dexter lateralis sowie dem Lobus hepatis dexter medialis. Der mittlere Abschnitt der Leber besteht aus dem Lobus quadratus und dem Lobus caudatus mit dem Proc. caudatus und dem zweigeteilten Proc. papillaris. Dorsal ist die Leber abgerundet und stumpf (Margo dorsalis) und enthält den in ihren Impressionen liegenden Oesophagus und die V. cava caudalis.

Der ventrale und laterale Rand (Margo ventralis) ist dagegen scharf und enthält rechts als auch links kleinere Einschnitte. Die Leber wird durch das kräftige Lig. triangulare sinistrum und das nur kurze und schwache Lig. triangulare dextrum befestigt. Ersteres befestigt den Lobus hepatis sinister lateralis mit seinem Dorsalrand an dem Bereich des Zwerchfellspiegels und letzteres geht vom Dorsalrand des Lobus hepatis dexter ans Zwerchfell. Das Lig. coronarium hepatis, das die über den Margo dorsalis verlaufende Verbindung beider Ligg. triangularia darstellt, ist nur andeutungsweise als schmaler Gekrösestreifen vorhanden. Das Lig. falciforme hepatis, welches Reste der obliierten Nabelvene als Lig. teres hepatis enthält, kommt vom Nabel, setzt zwischen Lobus sinister medialis und Lobus quadratus an und endet am Zwerchfellspiegel unterhalb der hinteren Hohlvene. Vom kranialen Pol der rechten Niere zum Proc. caudatus zieht das Lig. hepatorenale, welches die Niere in der Impressio renalis

fixiert. Die Ligg. hepatogastricum und hepatoduodenale ziehen von der Leberpforte zur Curvatura ventriculi minor und zur Pars cranialis duodeni und bilden das kleine Netz.

Die Gallenblase, Vesica fellea, weist eine unterschiedliche Form auf. Man findet nicht selten eine unvollständige bzw. vollständige Verdoppelung. Sie liegt in der Regel zwischen Lobus quadratus und Lobus dexter medialis in der Fossa vesicae felleae und erreicht den Ventralrand der Leber nicht. An der Facies diaphragmatica wird sie zwischen beiden Lappen sichtbar und tritt so in Kontakt mit dem Zwerchfell. Die zahlreichen Ductuli biliferi vereinigen sich zu einem oder mehreren Ductus hepatici, die sich mit dem Ductus cysticus (der die Verbindung mit der Gallenblase herstellt) vereinigen und den Ductus choledochus bilden. Dieser mündet mit dem Ductus pancreaticus etwa 3 cm vom Pylorus entfernt gemeinsam auf der Papilla duodeni major in der Ampulla hepatopancreatica des Duodenum.

2.2.1.2 Lage und Lageveränderungen

Die Parietalfläche der Leber bedeckt fast die ganze Bauchhöhlenfläche des Zwerchfells. Der Lobus sinister überschreitet in seinem ventralen Abschnitt die Medianebene nach rechts und läßt die linke dorsale Zwerchfellfläche im Bereich des 11.-12. Interkostalraumes frei, in welche sich der Fundus des Magens einfügt. Lobus hepatis dexter lateralis und Proc. caudatus ragen in die rechte dorsale Zwerchfellnische und nehmen dort in Höhe der 13. Rippe in ihrer Impressio renalis den kranialen Pol der rechten Niere auf.

Etwa in Höhe des rechten 8. Interkostalraumes überschreitet die Leber den Rippenbogen und tritt aus dem intrathorakalen Teil der Bauchhöhle heraus und reicht in die Regio xiphoidea bis zur Nabelgegend (Klesty, 1984). Hier liegt sie dem subserösen umbilikalen Fettgewebe auf und kann besonders bei adipösen Katzen durch das Fett dorsal verdrängt werden. Die Gallenblase liegt in Höhe des 8. Interkostalraumes rechts von der Medianen und liegt in diesem Bereich dem Zwerchfell an. Eine Lageveränderung findet hauptsächlich kaudoventral entlang der Bauchwand statt. Je nach Füllungszustand des Magens bewirkt er eine kranioventrale Verschiebung in der Form, daß bei einer stehenden Katze mit leerem Magen der Kaudalrand des linken Leberlappens in Höhe des 12. Interkostalraumes aus dem Intrathorakalraum herausragt. Durch den stark gefüllten Magen wird die Leber in der linken Körperhälfte kranioventral verdrängt. In Bauchlage wird die Leber kranial zusammengeschoben und gleitet entlang dem Zwerchfell dorsal.

In Rückenlage erfolgt eine Verschiebung entlang der ventralen Bauchwand in kaudaler Richtung. Bei der sitzenden Katze verlagert sich die Leber entlang der ventralen Bauchwand. Links dorsal reicht der Lobus sinister lateralis bis zur Mitte des 10. Interkostalraumes.

Auf der rechten Seite verschiebt sich der Lobus dexter lateralis weit kaudal bis in Höhe des 4. LW. In rechter Seitenlage schiebt sich der Lobus dexter lateralis mit seiner Kaudalgrenze bis in Höhe des 11. Interkostalraumes. In linker Seitenlage ist der Lobus sinister lateralis kranioventral verschoben, so daß seine Kaudalbegrenzung parallel zur 10. Rippe verläuft.

2.2.1.3 Blut- und Nervenversorgung

Das nutritive Gefäß der Leber ist die A. hepatica, ein Ast der A. coeliaca. Sie verläuft im Omentum minus zur Porta hepatis (Koch u. Berg, 1990). Die A. hepatica entläßt zuerst an die Leber den Ramus dexter lateralis und medialis sowie den Ramus sinister. Dann teilt sie sich in die A. gastrica dextra und die A. gastroduodenalis. Die V. portae ist das funktionelle Gefäß der Leber. Sie sammelt das Blut der Verdauungsorgane der Bauchhöhle, mit Ausnahme des kaudalen Rektumabschnittes, und führt es der Leber zu (Koch u. Berg, 1990).

Die V. portae tritt zusammen mit der A. hepatica propria in die Leberpforte, Porta hepatis, und löst sich innerhalb der Leber in deren Kapillargebiet auf. Danach strömt das Blut der Leberkapillaren in mehrere starke Venen, die Vv. hepaticae, die nunmehr durch Einmündung in die V. cava caudalis das Blut wieder dem großen Kreislauf zuführen.

Die Nerven der Leber entstammen dem N. vagus und dem N. sympathicus.

2.2.1.4 Darstellungsmöglichkeiten der Leber

Als bildgebende Verfahren zur Darstellung der Leber der Katze bieten sich für den Praktiker die Röntgenuntersuchung und die Sonographie an. Spezialtechniken, wie die digitale Subtraktionsangiographie, die Szintigraphie und die Computertomographie sind derzeit wenigen veterinärmedizinischen Einrichtungen vorbehalten. Die Röntgenuntersuchung ist derzeit die bildgebende Untersuchungsmethode der Wahl. Die Leber ist auf allen Abdomenaufnahmen als homogener Weichteilschatten gut zu erkennen. Auf der laterolateralen Aufnahme des Abdomens ist sie das am weitesten kranial liegende Organ.

Die kaudoventrale Leberbegrenzung, die vom Lobus hepatis sinister lateralis gebildet wird, sieht scharf und spitz aus und kann über den kaudalen Rand des Rippenbogens hinausreichen. Bei adipösen Katzen kann die Leber allerdings durch massive Fetteinlagerungen im Lig. falciforme hepatis (ventral und kaudal der Leber) soweit dorsal verlagert sein, daß das röntgenologische Erscheinungsbild als verkleinerte Leber fehlinterpretiert werden kann (Burk u. Ackerman, 1991). Weiterhin besitzen die Lage des Tieres und der Atmungszustand einen Einfluß auf die Lage der Leber und somit auf den röntgenologischen Befund. In linker Seitenlage kann es zu einer Überlagerung von Milz- und Leberschatten kommen, was die Bestimmung der Lebergröße erschwert.

In rechter Seitenlage bewegen sich die rechten Leberlappen kaudal, so daß sie einen größeren Schatten bilden als in linker Seitenlage. Eine Abrundung der Leberspitzen kann durch Schrägprojektion hervorgerufen werden. Der Einfluß des Respirationszustandes besteht in der Form, daß bei voller Inspiration die Leber am weitesten kaudal reicht. Auf der Ventrodorsalaufnahme erstreckt sich die Leber vom 10. Brustwirbel bis zum 2. LW. Bei der Inspiration verschieben sich diese Grenzen um eine Wirbellänge kaudal. Auf fast allen Aufnahmen sind Lungengefäße über der Leber zu sehen, da die Leber immer in gewissem Maße von den kaudalen Lungenlappen überlagert wird. Eine Lebervergrößerung wird auf dem Röntgenbild durch Abrundung der kaudoventralen Leberränder, kaudale Verlagerung weit über den Rippenbogen hinaus und die Verlagerung benachbarter Organe sichtbar.

Auf der seitlichen Aufnahme sieht man den Magen kaudal und dorsal und auf der Ventrodorsalaufnahme kaudal und links verlagert. Die rechte Niere (das Nierenbecken sollte etwa auf Höhe der 13. Rippe liegen) und das Colon transversum verschieben sich kaudal. Bei einer verkleinerten Leber zeigt sich eine Kranialverlagerung des Magens, so daß sich der Abstand zwischen Zwerchfell und Magen verkleinert. Die kraniale Flexur des Duodenums, das Colon transversum und die rechte Niere sind auf Ventrodorsalaufnahmen in diesem Zustand weiter kranial zu sehen.

Die Gallenblase liegt etwas rechts der Medianen im vorderen, unteren Leberfeld und ist normalerweise nicht zu sehen. Mit jodhaltigen, intravenös injizierten Kontrastmitteln läßt sich die Gallenblase röntgenologisch darstellen. Dieses Verfahren nennt man Cholezystographie (Owens, 1989). Da die Kontrastmittel über die Gallengefäße ausgeschieden werden, lassen sich anfangs die Ductus hepatici, cysticus und choledochus darstellen.

Nach maximaler Füllung der Gallenblase lassen sich Aussagen über Füllungsgrad, Gestalt und Lage machen. Bei der Katze besitzt sie eine Dreiecks- bis Birnenform mit kaudolateral gerichteter Spitze. Sie erstreckt sich vom 11. bis 12. Brustwirbel. Mit ihrem kranialen Pol erreicht sie in den meisten Fällen das Zwerchfell.

Zu Beginn und bei Beendigung der Gallenblasenfüllung kann man so größere Gallensteine zur Darstellung zu bringen, da sich diese mit kontrastmittelhaltiger Galle tränken. Bei Störungen der Ausscheidungsbereitschaft der Leber wird es nicht zu einer Darstellung von Gallengängen und Gallenblase kommen.

Die Leber läßt sich auch mit Hilfe der Ultraschalluntersuchung (Sonographie) darstellen. Da bei der Katze die Leber normalerweise direkt vor dem Magen innerhalb des Brustkorbes liegt, sollte bei der Untersuchung der Magen leer sein, da schon geringe Mengen von Futter und / oder Gas die Schallpassage stören und eine eingehende Untersuchung verhindern. Das Auffinden einzelner Organstrukturen der Leber ist ebenfalls stark vom Füllungszustand des Magen- und Darmtraktes abhängig. Gasgefüllte Darmabschnitte oder ein gut gefüllter Magen können möglicherweise ganze Leberabschnitte verdecken und für eine sonographische Untersuchung unzugänglich machen (Scholz, 1992). Die Leber weist sonographisch erhebliche Schwankungen in der Größe und der Form auf (Schmidt, 1987).

Das Leberparenchym hat ein gleichmäßiges, grobkörniges Binnenecho. Bei einer korrekten Einstellung des Tiefenausgleichs ist die Leber relativ echoarm. Um ihre Echodichte objektiv zu beurteilen, wird sie mit anderen parenchymatösen Organen unter Beibehaltung der Bildgröße und Geräteeinstellung verglichen. Dabei erscheint die Leber weniger dicht als die Milz, aber dichter als der Nierenkortex. Auch findet man häufig vereinzelte Stellen mit verstärkter Echodichte in der sonst regelmäßigen Leber, welche wahrscheinlich Bindegewebe (Lig. falciforme hepatis, interlobuläre Spalten, etc.) darstellen (Barr, 1992).

Die Gallenblase ist normalerweise rechts der Mittellinie innerhalb des Leberparenchyms sichtbar. Sie stellt sich als glatte, klar begrenzte, runde oder ovale Struktur mit dünnen Wänden und echofreiem Inhalt dar. Distal davon tritt eine Schallverstärkung auf. Die Größe der Gallenblase wechselt stark und ist abhängig vom Zeitpunkt der letzten Futteraufnahme. Im Normalfall sind intrahepatische Gallengänge nicht zu sehen. Im Gegensatz dazu lassen sich intrahepatische Blutgefäße als echofreie Kanäle im Querschnitt oder Längsschnitt darstellen. Aufgrund des hohen Bindegewebeanteils sind die Wände der Portalvenenäste echoreich, während die Lebervenenäste meist kein Wandecho erzeugen.

Nur größere Lebervenen weisen gelegentlich ein Wandecho auf und lassen sich so oft bis zur Mündung in die V. cava caudalis verfolgen. Die V. cava caudalis findet man als großes Gefäß am Leberhilus. Man kann sie bis zum Durchtritt durch das Zwerchfell verfolgen. Leberarterien sind sehr schlecht darstellbar.

2.2.2 Bauchspeicheldrüse, Pancreas

2.2.2.1 Bau des Pankreas

Das Pancreas ist je nach Funktionszustand und damit nach Blutfülle heller oder dunkler rot. Auffallende Schwankungen zeigen sich in der relativen als auch absoluten Masse. Das Pankreas der Katze ist etwa 12 cm lang, 1 bis 2 cm breit, wiegt durchschnittlich 8 bis 10 g und macht ungefähr 0,27 % der KM aus. Es besitzt V-Form und liegt zwischen den Serosablättern des Großen Netzes und des Mesoduodenum descendens. Es besteht aus einem in der Flexura duodeni cranialis gelegenen kurzen Mittelstück, Corpus pancreatis, an das sich jeweils ein nach rechts (Lobus dexter pancreatis) und links gerichteter Lappen (Lobus sinister pancreatis) anschließen (Koch u. Berg, 1990). Zwei Ausführungsgänge sorgen für den Abfluß der Pankreassäfte. Der Ductus pancreaticus mündet gemeinsam mit dem Hauptausführungsgang der Leber, dem Ductus choledochus, auf der Papilla duodeni major in der Ampulla hepatopancreatica, ca. 2-3 cm kaudal des Pylorus. Auf der Papilla duodeni minor, welche 1,5-2 cm kaudal von der großen Duodenalpapille liegt, mündet der Ductus pancreaticus accessorius, welcher aus zahlreichen kleinen Gängen gebildet wird, von denen einige mit dem Ductus pancreaticus anastomosieren. Er kommt bei ca. 20 % der Katzen vor (McClure et al., 1973).

In seltenen Fällen kommt eine Pankreasblase vor, die, neben der Gallenblase gelegen, mit dieser kommunizieren kann (König, 1992).

2.2.2.2 Lage und Lageveränderungen

Die Bauchspeicheldrüse liegt zwischen den Serosalamellen des großen Netzes und des Mesoduodenum descendens. Der Lobus pancreatis dexter liegt im Mesoduodenum descendens und reicht kaudal bis zur Flexura duodeni caudalis. Das Corpus pancreatis fügt

sich der Pars cranialis duodeni an. Der Lobus pancreatis sinister liegt eingeschlossen in die Serosablätter des Paries profundus des Großen Netzes und erstreckt sich entlang dem Pylorusteil des Magens bis an die Leber, das Colon transversum und schließlich die linke Niere (Berg, 1995). Das Pankreas der Katze verändert seine Lage normalerweise nur sehr geringgradig. Diese Lageveränderungen sind bei unterschiedlichem Fütterungszustand auf der einen und jeweiliger Körperstellung auf der anderen Seite zu beobachten.

Der rechte Pankreasschenkel verlagert sich mit dem Duodenum descendens. Die Verschiebung des linken Pankreasschenkels ist abhängig von der Magenfüllung und der Körperstellung. Er verläuft quer zur Längsachse. Bei Katzen in linker Seitenlage verlagert er sich mehr parallel dazu. Bei stehenden Katzen mit gefülltem und leerem Magen befindet sich das Ende des linken Schenkels direkt an der linken lateralen Bauchwand. In anderen Körperstellungen wird er durch die Milz von der Bauchwand getrennt (Klesty, 1984).

Palpatorisch ist die Bauchspeicheldrüse bei der Katze nicht erreichbar.

2.2.2.3 Blut- und Nervenversorgung

Aus der A. coeliaca und der A. mesenterica cranialis entspringen die Arterien für das Pancreas. Der Lobus sinister pancreatis wird von der A. lienalis, das Corpus pancreatis von der A. gastrica sinistra, A. hepatica und A. mesenterica cranialis und der Lobus dexter pancreatis von der A. pancreaticoduodenalis versorgt (Koch u. Berg, 1990). Das venöse Blut wird der V. portae über die V. lienalis, Vv. pancreaticoduodenales und die V. mesenterica cranialis zugeführt (Pott, 1949). Die Lymphe des Pankreas fließt zu den Lnn. hepatici, Lnn. coeliaci, Lnn. gastrici, Lnn. mesenterici craniales und Lnn. pancreaticoduodenales (Koch u. Berg, 1990). Die Nerven entstammen dem N. sympathicus und N. vagus (Plexus coeliacus, Plexus hepaticus, Plexus mesentericus cranialis).

2.2.2.4 Darstellungsmöglichkeiten des Pankreas

Das normale Pankreas hat Weichteildichte und ist auf Röntgenaufnahmen nicht oder nur sehr schwer zu identifizieren, da es ein kleines Organ ist und anderen Weichteilorganen aufliegt. Erkrankungen des Pankreas sind röntgenologisch daher nur schwer erfaßbar. So wurden bei der Pancreatitis verschiedene, im Röntgenbild sichtbare Veränderungen beschrieben, jedoch

ist keines dieser Zeichen zuverlässig. Die häufigsten, auf Röntgenaufnahmen sichtbaren Veränderungen sind eine schleierartige Verschattung und ein Verlust der Detailzeichnung im kranialen rechten Abdomen. Dieser Befund muß kritisch bewertet werden, da ähnliches auch bei den meisten normalen Tieren beobachtet wird. Ursache ist die Überlagerung vieler eng benachbarter, sich berührender, weichteildichter Strukturen (Burk u. Ackermann, 1991). Genauer lassen sich raumfordernde Prozesse in der Pankreasregion lokalisieren, weil diese zu Verlagerungen des Colon transversum nach kaudal und des Duodenum descendens nach lateral führen (Kealy, 1991).

Sonographisch ist das normale Pankreas bei der Katze schwierig zu erkennen. Häufig enthalten Magen und / oder Duodenum so viel Gas, daß es zu Schallschattenbildung kommt. Das normale Pankreas ist ein schlankes Organ mit eher schlecht definierten Grenzen und in der Regel von Fett umgeben. Es ist normalerweise echoreicher als die Nierenrinde und Leber. Bei gesunden Katzen ist das Pankreas nicht sichtbar (Barr, 1992). Bei der Untersuchung sollte der Schallkopf rechts der Mittellinie und unmittelbar kaudal des Rippenbogens angelegt und die rechte Niere aufgesucht werden. Gasgefüllte Darmschlingen können mit sanftem Druck nach unten verdrängt werden. Der rechte Pankreasschenkel sollte ventral der rechten Niere liegen. Als weitere Orientierungshilfen können die Aorta, die V. cava caudalis und die V. portae in der Medianebene dienen. Über das sonographische Aussehen von Pankreaserkrankungen bei der Katze wurde bisher nur vereinzelt berichtet. Pankreastumore können bei ausreichender Größe sonographisch erkannt werden.

2.2.3 Magen, Ventriculus

2.2.3.1 Bau des Magens

Der Magen der Katze hat die Form eines gekrümmten Sackes oder Hakens, welche entsprechend dem jeweiligen Füllungsgrad stark variieren kann. Der Oesophagus mündet trichterförmig im Ostium cardiacum in den Magen. Er besitzt eine kraniale Zwerchfellsfläche, Facies parietalis, sowie eine kaudale Eingeweidefläche, Facies visceralis.

Jeweils zwei Krümmungen liegen dazwischen: Die große Magenkrümmung, *Curvatura ventriculi major*, verläuft konvex von links, Cardia, in ventraler Richtung bis zum Pylorus.

Dabei zieht der zweite Rand, die kleine Magenkrümmung, *Curvatura ventriculi minor*, in

konkavem Bogen nach rechts und dorsal. Auffällig ist eine Einziehung, die *Incisura angularis*. Der Magen ist in folgende Abschnitte gegliedert: Links dorsal das *Corpus* mit dem *Fundus*, die Magenblase, nach ventral und dorsal ansteigend der Pylorusteil mit dem *Antrum pyloricum* und dem *Canalis pyloricus* (König, 1992).

Als Großes Netz (*Omentum majus*) gelangt der Bauchfellüberzug an die große Krümmung. Dabei weichen die großen Serosalamellen auseinander und nehmen den Magen zwischen sich. An der *Curvatura ventriculi minor* finden die beiden Lamellen wieder zusammen und bilden das Kleine Netz (*Omentum minus*). Es besteht aus dem *Lig. hepatogastricum* und dem *Lig. hepatoduodenale* (König, 1992). Das Große Netz liegt schürzenartig zwischen dem Darmkonvolut und der Bauchwand. Magenvorderfläche, Leber, *Pars descendens duodeni*, die Harnblase und die Milz bleiben vom Großen Netz unbedeckt. Der dem Darmkonvolut direkt aufliegende Abschnitt heißt *Paries profundus* und erstreckt sich von der Ursprungslinie an der dorsalen Bauchwand bis zum Umschlagrand und geht hier in den unmittelbar der Bauchdecke anliegenden Abschnitt, *Paries superficialis*, über, welcher die große Krümmung des Magens erreicht. Die Netzbeutelhöhle, *Bursa omentalis*, liegt zwischen beiden Blättern. Teil des großen Netzes ist das *Lig. gastrolienale*, das zwischen großer Krümmung des Magens und dem Milzhilus entwickelt ist. Zwischen Milzhilus und der linken Fläche des *Mesocolon descendens* spannt sich zusätzlich eine segelförmige Netzplatte aus, die als Trageapparat der Milz fungieren soll. Es entspringt entlang dem medialen Rand der rechten Niere bis zum 4. LW und zieht als sagittal gestellte, segelartige Bauchfellplatte zur Milzarterie und hängt links bis zum seitlichen Umschlagrand des großen Netzes ventral herab. Von der Peritonealhöhle aus zur *Bursa omentalis* gelangt man über das *Foramen epiploicum s. omentale*. Es liegt zwischen der kaudalen Hohlvene (dorsal) und der Pfortader (ventral). Man gelangt jedoch zuerst in den von ventral durch das kleine Netz begrenzten Netzbeutelvorhof (*Vestibulum bursae omentalis*). Über die kleine Krümmung des Magens erreicht man die Netzbeutelhöhle, welche die Verschiebbarkeit der Organe erleichtert.

2.2.4.2 Lage und Lageveränderungen

Der leere oder mäßig gefüllte Magen liegt im intrathorakalen Teil der Bauchhöhle, so daß er nicht der Palpation zugänglich ist. In Höhe der *Articulatio costochondralis 10* liegt der Scheitel des U-förmig gekrümmten Rohres.

Pars cardiaca und Fundus ventriculi schmiegen sich je nach Füllung dem linken Zwerchfellpfeiler an, bei stärkerer Füllung dem linken Zwerchfellschenkel, bei schwächerer dem linken Zwerchfellschenkel einen Interkostalraum weiter kaudal. Das Antrum pyloricum lagert sich dem umbilikalen Fettgewebe und den Jejunumschlingen auf. Die Pars pylorica lehnt sich unterhalb der Mitte der 10. Rippe der Porta hepatis an. Der Pylorus befindet sich in Höhe des ersten Interkostalraumes (Berg, 1995). Bei stärkerer Füllung des Magens ragen Corpus ventriculi und Antrum pyloricum weit in die Regio hypogastrica hinein und können den 2. bis 3. LW erreichen. Dabei steigt der Pylorusteil des Magens bis zur 12. Rippe entlang dem rechten Rippenbogen auf (Klesty, 1984). Der Magen ist durch seine Befestigung am Zwerchfell und an der dorsalen Bauchwand gut fixiert und hat so nur geringfügige Verlagerungsmöglichkeiten. Magendrehungen, wie sie bei Hunden relativ häufig vorkommen, sind bei Katzen bis heute nicht beschrieben worden bzw. stellen eine Rarität dar, so daß wir nur Einzelmitteilungen finden konnten (De Grest u. Leonhardi, 1968; Turner, 1968). Jedoch ist die Ausdehnungsfähigkeit des Magens sehr hoch, welche im wesentlichen durch den Füllungszustand und die Körperhaltung bzw. Körperstellung beeinflußt wird. Bei der in Bauchlage fixierten Katze liegt der leere Magen intrathorakal. Im Gegensatz dazu schiebt sich der leere Magen bei sitzenden Katzen zur Hälfte aus dem Intrathorakalraum heraus (Klesty, 1984). Intrathorakal gelegen ist auch der mäßig gefüllte Magen der an den Beckengliedmaßen aufgehängten Katze, z.B. bei der Kastration der Katze. Bei dieser Körperstellung wird der Fundus kaudal umgebogen, Pylorus und Cardia kommen beide in Höhe des 9. Interkostalraumes zu liegen. Dabei befindet sich der Magen hauptsächlich in der linken Körperhälfte, nur der Pylorusteil verläuft rechts über die Medianebene. Wichtig sind die Verhältnisse in Rückenlage. Hier liegt der leere Magen horizontal, Pylorus und Cardia befinden sich beide in Höhe des 9. Interkostalraumes. Bei adipösen Katzen kann sich in Rückenlage der Magen weiter nach kaudal verschieben und der Pylorus ist im 12. und die Cardia im 11. Interkostalraum gelegen (Klesty, 1984). Bei der stehenden Katze tangiert der gefüllte Magen die ventrale Bauchwand. Sein Pylorus liegt dabei im 11. Interkostalraum.

2.2.3.3 Blut- und Nervenversorgung

Der Magen erhält sein arterielles Blut ausschließlich durch Zweige der A. coeliaca, welche wie folgt verlaufen: Zuerst zweigt als großer Ast die stricknadelstarke A. hepatica ab.

Aus dieser entspringt die *A. gastrica dextra*, welche im Omentum minus zum Magen läuft und die *Curvatura minor* versorgt. Dabei anastomosiert sie mit der *A. gastrica sinistra* (Field u. Taylor, 1979). Der übrigbleibende Stamm, die *A. gastroduodenalis*, zweigt sich in der Bauchspeicheldrüse in die *A. pancreatoduodenalis cranialis* und die *A. gastroepiploica dextra* auf. Die *A. pancreatoduodenalis cranialis* zieht im Lobus dexter pancreatis mit dem Duodenum kaudal, gibt Äste an das Pankreas ab und anastomosiert in der Flexura secunda duodeni mit der ersten Jejunalarterie der *A. mesenterica cranialis*. Die *A. gastroepiploica dextra* liegt ebenfalls im Pankreas und zieht zur *Curvatura major* des pylorusseitigen Magenabschnittes. Im Parietalblatt des Netzbeutels verläuft sie in einiger Entfernung der Netzansatzlinie ventral und links, um mit der *A. gastroepiploica sinistra* zu anastomosieren. Auf ihrem Wege gibt sie kleine Äste an den Magen, *Rami gastrici breves*, und an das viszerale Blatt des Netzbeutels, *Rami epiploici*, ab (Koch u. Berg, 1993).

Die *A. gastrica sinistra* geht ca. 2 mm nach Abgang der *A. hepatica* aus der *A. coeliaca* hervor (Pott, 1949). Sie verläuft im Viszeralblatt des Milznetzes kranial, wendet sich dann auf der rechten Seite von diesem gegen die Cardia und erreicht rechts der Oesophaguseinpflanzung die *Curvatura minor* des Magens (Berg, 1995).

Auf ihrem Weg gehen zwei Äste ab, die kleine Zweige, *Rami oesophagei*, an die Cardia abgeben (Field u. Taylor, 1979). Danach ziehen diese beiden Äste, *Rami anastomotici*, durch den Hiatus oesophageus entlang der Speiseröhre in die Brusthöhle und anastomosieren dort mit dem Ramus oesophageus der *A. bronchooesophagea*. Stärkere Äste gibt die *A. gastrica sinistra* an die kaudale Magenfläche ab. Ihr Hauptstamm verzweigt sich an der *Curvatura ventriculi minor* in mehrere starke Äste. Die dorsalen Äste sind für die Versorgung des leberseitigen Teils der Magenwand im Gebiet der Cardia bestimmt.

Der größere Teil der starken *Rami gastrici* zieht an der kleinen Kurvatur des Magens weiter und anastomosiert auf der leber- bzw. darmseitigen Fläche des Magens mit Ästen der *Aa. gastricae breves* (Berg, 1995).

Neben der *A. gastrica sinistra* geht der stärkste Ast der *A. coeliaca*, die *A. lienalis*, hervor. Die *A. lienalis* entläßt in ihrem Verlauf die *Rami lienales*. Die *Aa. gastricae breves*, welche von den *Rami lienales* abgehen, verlaufen medial an der Milz vorbei auf kürzestem Wege zur *Curvatura ventriculi major* des Magens. Die *A. gastroepiploica sinistra* entspringt aus dem *Ramus distalis secundus*. Sie verläuft im Parietalblatt des Netzbeutels rechts in Richtung Pylorus.

Dabei anastomosiert die A. gastroepiploica sinistra entlang der großen Kurvatur des Magens mit der A. gastroepiploica dextra (Hudson u. Hamilton, 1993).

Da die Blutversorgung des Magens der Katze so umfangreich vollzogen wird, ist besonders bei Operationen am Magen (Laparogastrotomie z.B. bei Fremdkörpern) besonders auf den Verlauf der Gefäße zu achten. In der Mitte der netzfreien Parietalfläche zwischen großer und kleiner Kurvatur kann man den Magen öffnen, ohne größere Blutgefäße verletzen zu müssen.

Das venöse Blut fließt über die Vv. gastricae dextrae et sinistrae, die Vv. gastroepiploicae dextrae et sinistrae, V. gastroduodenalis und die V. gastrolienalis schließlich in die V. portae. Die Lymphgefäße ziehen zu den Lnn. gastrici, lienales, coeliaci und pancreatoduodenales. Der Magen wird über den N. vagus und den N. sympathicus innerviert. Beide bilden den Plexus gastricus.

2.2.3.4 Darstellungsmöglichkeiten des Magen

Mittels Röntgenuntersuchung läßt sich der Magen der Katze gut darstellen. Die wichtigsten Abschnitte sind dabei Pars cardiaca, Fundus, Corpus, Antrum und Pylorus. Entsprechend der Lage des Patienten differiert das Röntgenbild stark. Dabei ist zu beachten, daß sich Gas im Magen jeweils nach oben und Flüssigkeit, der Schwerkraft folgend, nach unten verlagern (Kealy, 1991). Im Normalbild sind durch das Vorhandensein von Gas, Futterresten oder Flüssigkeit die Lage und Größe des Magen meist leicht zu erkennen. Lage, Größe und Form des Magens lassen sich mit einer Bariumkontrastuntersuchung noch besser abgrenzen. Weiterhin kann man über Dicke und Beweglichkeit der Magenwand die Funktionsfähigkeit des Magens einschätzen. Das im Magen befindliche Gas wird als Magenblase bezeichnet. Bei einer Dorsoventralaufnahme findet man die Gasblase gewöhnlich in der Pars cardiaca und der Fundusregion kaudal des linken Zwerchfellpfeilers. Dagegen liegt die Gasblase bei einer Ventrodorsalaufnahme im Pylorus- und Korpusbereich nahe der Medianebene kaudal des rechten Zwerchfellpfeilers. Bei der Katze befindet sich das Antrum pyloricum in dieser Aufnahmeposition im Normalfall links der Mittellinie und der Pylorus auf bzw. nahe der Mitte (Owens, 1989). Der Pylorus stellt sich als runde Weichteilstruktur dar (Burk u. Ackermann, 1991). Befindet sich die Katze in rechter Seitenlage liegt die Gasblase im Fundus des Magens. Die Magenflüssigkeit sammelt sich im Antrum pyloricum und kann sich dort als scharf umschriebener Schatten abbilden. Der Pylorus wird in rechter Seitenlage immer quer

getroffen und er ergibt so einen kreisrunden Schatten, welcher leicht mit einem Fremdkörper im Magen verwechselt werden kann. Im Gegensatz dazu befindet sich die Gasblase in linker Seitenlage im Pylorus- und Antrumbereich. Die Lage des Magen ändert sich mit der Atmung. Wenn man in seitlichen Aufnahmen eine Linie vom Fundus durch den Körper zum Pylorus zieht, dann steht diese Linie entweder senkrecht zur Wirbelsäule, verläuft parallel zum Rippenbogen oder liegt zwischen diesen beiden Extremen. Die Linie zwischen Fundus ventriculi und Pylorus steht bei Ventrodorsalaufnahmen immer senkrecht zur Wirbelsäule. Leeraufnahmen und eine Kontrastfüllung sind fester Bestandteil einer vollständigen Magenuntersuchung. Kontrastuntersuchungen können mit positiven, negativen oder Doppelkontrast durchgeführt werden (Burk u. Ackermann, 1991). Kontrastmittel kann man direkt über eine Magensonde applizieren. Ein ausschließliches Anwenden von Negativkontrastmitteln ist unbefriedigend, jedoch bei der Untersuchung auf Fremdkörper nützlich. Bei der Positivkontrastuntersuchung werden Barium oder wasserlösliche Jodverbindungen verwendet. Bariumsulfat ist besonders geeignet. Für die Untersuchung ist zu beachten, daß bei Verdacht auf Perforation des Oesophagus, Magens oder Darms anstelle des Bariums, eine wäßrige Jodlösung (z.B. Gastrografin®, Schering) verwendet werden sollte. Der bittere Geschmack empfiehlt die Verwendung einer Magensonde. Lösliche Kontrastmittel haben den Vorteil, daß sie im Gegensatz zum Barium vom Peritoneum oder von der Pleura schnell und reaktionslos resorbiert werden. Bei Doppelkontrastuntersuchungen benutzt man eine Kombination von positiven und negativen Kontrastmitteln. Im Normalfall ist im Magen Luft oder Gas enthalten, so daß im Grunde jede Positivkontrastuntersuchung des Magens in gewissem Ausmaße eine Doppelkontrastuntersuchung darstellt. Nach der Bariumgabe, wenn bereits ein Großteil des Bariums den Magen verlassen hat, wird über eine Magensonde Luft direkt in den Magen gegeben. Als günstig hat sich erwiesen, daß sehr konzentriertes Barium verwendet wird und man gleichzeitig den Magen künstlich durch intravenöse Gabe von Glucagon paralyisiert (Burk u. Ackermann, 1991).

Ein Fasten von 15-24 Stunden ist für eine Bariumuntersuchung genauso notwendig wie das Unterbinden der Flüssigkeitsaufnahme 3-4 Stunden vor der Untersuchung. Die Eingabe eines leichten Abführmittels 24 Stunden davor ist ebenfalls günstig. Für eventuelle Klysmen sind physiologische Kochsalzlösungen zu empfehlen, deren Temperatur geringfügig unter Körpertemperatur liegen sollte, um Gasansammlungen zu verhindern. Narkosemittel und Tranquilizer können die Entleerungszeit des Magens und die Darmpassage erheblich

beeinflussen. Leeraufnahmen sollten vor jeder Kontrastuntersuchung angefertigt werden, um auszuschließen, daß das Kontrastmittel Fremdkörper oder andere darstellbare Veränderungen verdeckt. Aufnahmen in Seiten- und Rückenlage sind Standard, können aber durch Bauchlage- und Schrägprojektionen sowie Lateralaufnahmen am stehenden Tier ergänzt werden. Erst nachdem das Barium alle Teile des Magens ausgefüllt hat, sollte man mit den Aufnahmen beginnen. Nach den ersten Kontrastaufnahmen werden bis eine Stunde nach Eingabe alle 20 Minuten weitere angefertigt, danach in stündlichen Abständen, bis eine Diagnose feststeht. Für Leeraufnahmen genügen in der Regel eine laterale und eine ventrodorsale Projektion. Nach Bariumgabe ist auch die Lage des Kontrastmittels von der Lagerung des Tieres abhängig. Dabei verhält sich das Kontrastmittel umgekehrt wie Gas, es sinkt zum tiefsten Punkt des Magens. Im Antrum sieht man das Gas in rechter Seitenlage. In Fundus und Körper ist es in rechter Seitenlage zu finden.

Bei Rückenlage des Tieres sammelt sich das Kontrastmittel im Fundus ventriculi und um die Pars cardiaca, während es in dorsoventraler Lage in Körper und Pylorus sinkt. Mit rechten dorsoventralen Schrägaufnahmen läßt sich der Pylorus am besten darstellen. Vollständige Magenuntersuchungen erfordern die Darstellung aller Abschnitte des Magens. Im normalen Magen erkennt man Schleimhautfalten bei Betrachtung von Antrum pyloricum und Körper. Entsprechend der Füllung des Magens verlaufen sie gerade oder gebogen, sollten gleichmäßig begrenzt und glatt sein, sowie parallel zueinander liegen. Die Abstände zwischen den Falten sollten ungefähr genauso breit sein wie die Falten selbst. Die Katze hat wenige schmale Schleimhautfalten. Für die Praxis von Bedeutung ist die Entleerungszeit, in der der Magen anfängt sich zu entleeren. Das Feststellen der Zeit der vollständigen Magenentleerung ist ebenfalls diagnostisch relevant. Die durchschnittliche Leerungszeit liegt beim nüchternen Tier bei 1 Stunde, wobei Abweichungen möglich sind. Ein Verbleiben des Bariums länger als 3 Stunden sollte immer als pathologisch angesehen werden. Art und Menge des Mageninhaltes spielen genauso eine Rolle, wie der Erregungszustand des Tieres. Bei nervösen Tieren kann die Entleerung in das Duodenum zu Beginn der Untersuchung aufgrund eines Pylorospasmus eine halbe Stunde oder mehr verzögert sein. Bei der Durchleuchtung lassen sich auch die Kontraktionen des Magens beobachten. Peristaltische Wellen laufen von der Pars cardiaca ausgehend über den Körper und das Pylorusantrum bis zum Pyloruskanal. Das Abfließen eines Kontrastmittelbolus in das Duodenum wird durch das Erschlaffen des Pylorus am Ende jeder Kontraktion ermöglicht.

Ein Drehen des Tieres während der Durchleuchtung sichert, daß alle Teile der Mucosa mit Barium benetzt sind und so alle Abschnitte des Magens dargestellt werden. Eine Magenwandläsion wird durch eine ständig starre Stelle auffällig. Magenerweiterungen (z.B. durch Pylorusstenose, Pylorustumor, Magendilatation oder Fremdkörper), Verlagerungen des Magens (z.B. durch raumfordernde Prozesse, Zwerchfellhernien oder Hepatomegalie) können genauso röntgenologisch diagnostiziert werden, wie auch pathologische Veränderungen der Magenwand (z.B. Gastritis). Damit ist auch hier die Röntgenuntersuchung ein wichtiges Verfahren.

Da bei der Ultraschalluntersuchung die Schallwelle von der Luft aber auch von Knochen vollständig reflektiert wird, ist der Einsatz in der gesamten Magen-Darm-Diagnostik nur eingeschränkt möglich, da hier sehr oft Gase vorhanden sind, welche stark störende Reflexe auf dem Bild erzeugen (Barr, 1992). Auch beeinträchtigen feste Futterbestandteile oder Kot die Bildqualität. Jedoch lassen sich auch sonographisch begrenzt Informationen sammeln, vor allem mit hochauflösenden Schallköpfen. Für die Untersuchung des Magens sollte das Tier nüchtern sein, trinken ist jedoch erlaubt. Dadurch ist der Magen flüssigkeitsgefüllt und besser sichtbar. Nach routinemäßiger Vorbereitung der Haut wird der Schallkopf links von der Mittellinie hinter dem Rippenbogen angelegt und der Schallstrahl kraniodorsal gerichtet. Zuerst wird der Magenfundus aufgesucht, dann der Schallkopf nach rechts bewegt, um Antrum pyloricum und Pylorus darzustellen (Barr, 1992).

Der flüssigkeitsgefüllte Magen erscheint als gut umschriebene Struktur mit einer 3-4 mm dicken, gut sichtbaren Wand. Der flüssige Mageninhalt erscheint echofrei. Oft sind kleine Luftblasen als multiple echoreiche Partikel darin nachweisbar. Auch Peristaltikwellen sind erkennbar. Der Pylorus erscheint häufig als ein umschriebenes, ovales oder rundes Gebilde von gemischter Echodichte rechts der Mittellinie und kaudal der Leber (Barr, 1992).

Mit konventioneller Ultraschalltechnik können nur sehr deutliche Veränderungen im Magen-Darm-Trakt erkannt werden.

Die Endoskopie ermöglicht heute eine sichere Untersuchung der inneren Strukturen des Magens mit einer hohen Bildqualität. Mit Hilfe flexibler Endoskope ist es heute möglich, die z.B. bei einer Kontrastuntersuchung gefundenen Läsionen genau zu untersuchen. Für die Tiermedizin eignen sich Geräte von 60-120 cm Länge bei einem Durchmesser von 5-11 mm mit Geradeausoptik. Für die retrograde Adspektion der Cardia erweist sich eine Seitenoptik mit 30° als günstig. Liegt eine Magenentleerungsstörung vor oder hat sich ein Fremdkörper

am Pylorus festgesetzt, der vorher nicht entdeckt wurde, wird er jetzt bei der Endoskopie sicher gefunden. Man führt das Endoskop unter Luftinsufflation in den Magen ein, wodurch er leicht aufgeblasen wird. Mit der Geradeausoptik erkennt man bald das Antrum pyloricum an der stärkeren Faltenbildung in Richtung auf den Pylorus. Bei Brustlage des Patienten findet man das Antrum, indem man die Optik leicht nach links, also gegen die rechte Körperwand des Patienten, dreht. Die Incisura angularis wird bei weiterer Biegung des Endoskops nach links sichtbar. Für die Darstellung der Curvatura ventriculi major einschließlich Schleimhaut des Corpus ventriculi und Fundus ventriculi, wird das Endoskop nach rechts gedreht, wobei sich der Patient wiederum in Brustlage befinden muß.

Um Antrum pyloricum und Pylorus besser darstellen zu können, empfiehlt es sich, den Patienten in Rückenlage zu bringen, weil so Futterreste und Magensaft in den Fundus absinken. Zahl und Größe der Schleimhautfalten hängen wesentlich vom Füllungszustand des Magens ab. Da normale Falten beim Aufblasen des Magens weitgehend verstreichen, kann man so eine verstärkte Faltenbildung leicht diagnostizieren. Erosionen, besonders Ulcera, wie auch Wandverdickungen infolge leukotischer Infiltration lassen sich gut feststellen. Bei Fremdkörperverdacht kann es erforderlich sein, ein Parasympatholytikum zu injizieren. Fremdkörper liegen häufig im Antrum pyloricum vor dem Pylorus, wo sie fixiert werden. Während peristaltischer Kontraktionen sind Umfangsvermehrungen des Pylorus und der Pars cardiaca gut erkennbar. Bei der Durchführung einer Biopsie sollte man mindestens je eine Probe aus jedem Magenabschnitt entnehmen (Fundus ventriculi, Corpus ventriculi, Antrum pyloricum und Pylorus). Bei malignomverdächtigen Ulcera nimmt man die Proben vom Rand der Veränderung, jedoch nicht aus dem wesentlich stärker angegriffenen Zentrum, welches lediglich Zelltrümmer und Eiterzellen enthält (Kraft,1993).

2.2.4 Milz, Lien

2.2.4.1 Bau der Milz

Die Milz ist bei allen Haussäugetieren das größte zusammenhängende lymphatische Organ und ist im Gegensatz zu anderen Lymphorganen in den Blutkreislauf eingeschaltet. Sie dient dem Abbau der roten Blutkörperchen und der Speicherung von Eisen. Weiterhin ist die Milz in der Lage, große Mengen Blut zu speichern und ein wichtiger Bestandteil des

Abwehrsystems. Die Milz ist von einer Kapsel aus Bindegewebe und glatten Muskelzellen umgeben, die mehr oder weniger starke Balken ins Innere sendet. Das Milzparenchym gliedert sich in die weiße und rote Milzpulpa. Als weiße Milzpulpa bezeichnet man die Gesamtheit des lymphatischen Gewebes (Milzfollikel und periarteriöle Scheiden). Das retikuläre Maschenwerk der roten Milzpulpa wird von untereinander anastomosierenden Sinuskapillaren durchzogen (König, 1992). Die hellrote Milz der Katze ist platt und lang-zungenförmig. Sie ist in der Mitte etwas schmaler und besitzt ein verbreitertes ventrales Ende, das meistens kranial leicht abgewinkelt erscheint (Nickel et al., 1995). Je nach Blutfülle erreicht die Milz eine Länge von 114-185 mm, eine Breite von 14-31 mm und eine Masse von 5,5-32 g (König, 1992). Die Facies parietalis ist leicht gewölbt und legt sich dem Crus laterales sinistrum der Pars lumbalis und dem linken dorsalen Abschnitt der Pars costalis des Zwerchfells sowie der seitlichen Bauchwand unmittelbar an (Nickel et al., 1995). Die Facies visceralis ist fast eben und nur von dem rinnenartigen Hilus lienis unterbrochen (Koch u. Berg, 1993). Der kranial vom Hilus gelegene Teil, die Facies gastrica, grenzt an den Magen, während der kaudale Abschnitt, die Facies intestinalis, der linken Niere, dem Colon descendens sowie Schlingen des Jejunums anliegt (Nickel et al., 1995). Die Milz entwickelt sich im Paries profundus des Großen Netzes und wird von diesem getragen. Die Ansatzlinie des Paries profundus beginnt am Crus sinistrum des Zwerchfells, verläuft über den Hiatus oesophageus bis zur A. coeliaca und zieht, der visceralen Fläche des Magens anliegend, als Lig. phrenicolienale zum Hilus der Milz.

2.2.4.2 Lage und Lageveränderungen

Bei leerem Magen liegt die Milz der Katze völlig intrathorakal. Die Lage der Milz ist durch die Befestigung am dorsalen Magengekröse weitgehend vom Füllungszustand des Magens und weniger von der Körperstellung der Katze abhängig. Bei stärker gefülltem Magen kann sie sich bis zur Apertura pelvis cranialis und über die Medianebene nach rechts verlagern. Bei mäßig gefülltem Magen wird ihre Extremitas dorsalis noch von den beiden letzten Rippen bedeckt. Die Extremitas ventralis ragt über den Arcus costalis in die Regio hypochondriaca bis zu einer Transversalebene durch den 2.- 4. LW hinein (Berg, 1995). Bei der stehenden Katze mit leerem Magen befindet sich das dorsale Milzende in Höhe des 2. und 3. LW und verläuft fast senkrecht zur Wirbelsäule. An der ventralen Bauchwand knickt die Milz in ihr

ventrales Ende um und verläuft horizontal bis in Höhe des 5. LW. Auch bei der sitzenden Katze mit leerem Magen liegt die Milz außerhalb des Intrathorakalraumes. Im Gegensatz dazu befindet sich die Milz der stehenden Katze mit gefülltem Magen noch zum Teil im intrathorakalen Abschnitt der Bauchhöhle. Sie verläuft fast senkrecht in Höhe des 1.- 4. LW, so daß ihr dorsales Ende vom Rippenbogen bedeckt wird. In der Rückenlage liegt die Milz mit ihrer Basis intrathorakal und ihr Ventralende erreicht die Linea alba. Die auffälligsten Veränderungen erfährt die Milz bei der an den Beckengliedmaßen aufgehängten Katze. Die Milz ist im Mittelstück stark abgknickt und sowohl ihr Dorsal- als auch ihr Ventralende zeigen kaudal. Basis und Mittelteil befinden sich intrathorakal und links (Klesty, 1984).

2.2.4.3 Blut- und Nervenversorgung

Die Milz erhält ihre Blutversorgung von der A. lienalis, die das fortlaufende Gefäß der A. coeliaca nach Abgabe der A. hepatica und A. gastrica sinistra ist (Pott, 1949). Die A. lienalis zieht kranial von dem im Segelnetz gelegenen Abschnitt des Lobus pancreatis sinister nach links und ventral in Richtung auf die Mitte des Milzhilus, dem sie sich bis auf 1 cm nähert und ihn in diesem Abstand bis zu seinem Ende begleitet (Koch u. Berg, 1993). Etwa auf halber Länge entläßt sie das dorsale Stammgefäß für die Rami lienales. Gewöhnlich werden 4 Äste, Rami lienales, die der Reihe nach aus der A. lienalis entspringen, an den Milzhilus abgegeben. Da 2 Äste ihren Ursprung aus dem proximalen Abschnitt der A. lienalis nehmen und weitere 2 Äste aus dem distalen Abschnitt, werden sie entsprechend als Ramus proximalis primus, Ramus proximalis secundus, Ramus distalis primus und Ramus distalis secundus bezeichnet (Koch u. Berg, 1993). Vor Eintritt in das Milzparenchym gehen von den Rami lienales die Aa. gastricae breves ab, sowie die Rami epiploici, die an das Milznetz abgegeben werden. Der Abfluß des venösen Blutes wird über die V. lienalis vollzogen, welche über die V. gastrolienalis in die V. portae mündet. Am Hilus der Milz befinden sich die Lnn. lienales. Die nervale Versorgung übernehmen Äste des N. sympathicus und des N. vagus.

2.2.4.4 Darstellungsmöglichkeiten der Milz

Mit Hilfe der Röntgendiagnostik ist die normale Milz auf fast allen Ventrodorsalaufnahmen

als dreieckiger homogener Weichteilschatten im Bereich der linken Bauchwand kaudolateral links des Magens und leicht lateral der linken Niere zu erkennen (Burk u. Ackermann, 1991). Medial nimmt sie Kontakt mit der linken Niere und dem Colon transversum auf und kann sich in Abhängigkeit vom Füllungszustand des Magens vom 2.–7. LW erstrecken (Wiethölter, 1964; Schmidt u. Horzinek, 1993). Die Milz ist in seitlicher Projektion oft nicht erkennbar, die Extremitas dorsalis hingegen meist als dreieckiger Weichteilschatten kaudodorsal des Magens (Burk u. Ackermann, 1991). Ist die Milz bei dieser Aufnahmetechnik als separater Weichteilschatten an der ventralen Bauchwand hinter der Leber deutlich zu sehen, dann liegt eine Milzvergrößerung vor (Schmidt u. Horzinek, 1993). Die klinische Bedeutung einer Milzvergrößerung ist nie eindeutig, da die Milz ein sehr dynamisches Organ ist und ihre Größe sich je nach physiologischem Zustand dramatisch ändern kann (Burk u. Ackermann, 1991). So bewirken Sedation und Narkose eine deutliche Vergrößerung der Milz (Owens, 1989). Milzvergrößerungen können lokalisiert oder generalisiert auftreten. Bei der Katze sind die häufigsten Ursachen von generalisierten Milzvergrößerungen infiltrative Erkrankungen wie Lymphosarkom und Mastzellentumor. Treten im röntgenologischen Bild Verlust oder Verwischung der Detailzeichnung in der Milzregion im mittleren Abdomen mit schlecht erkennbaren Milzrändern auf, so kann man auf eine Milzruptur schließen. Bei Katzen entstehen diese Rupturen nach stumpfen Bauchtraumen, welche durch Unfälle oder Stürze hervorgerufen werden. Durch Splenoportographie nach Kontrastmittelinjektion kann die Darstellung der Milz deutlich verbessert werden.

Zur Darstellung der Milz per Sonographie wird der Schallkopf in Längsrichtung orientiert, sowie links paramedian und kaudal der Leber verschoben. Die Milz ist meist kaudal des linken Leberlappens und kranial lateral der linken Niere als feingranulierte homogene Struktur sichtbar. Aufgrund ihrer lockeren Fixation kann sie aber auch medial oder rechts zu finden sein (Kraft u. Dürr, 1991). Im Vergleich zur Leber besitzt das Milzparenchym ein feineres, etwas helleres und homogeneres Echomuster (Scholz, 1992). Der Gefäßreichtum der Milz ist die Ursache für die höhere Echodichte. Im Bereich des Milzhilus findet man Aufzweigungen der Milzgefäße (Komarek, 1987). Herdförmige Parenchymveränderungen lassen sich im normal gleichmäßigen Echomuster von gesundem Gewebe relativ leicht erkennen. Beurteilt werden Anzahl, Größe, Form und Echodichte einer Veränderung sowie ihre Abgrenzbarkeit vom normalen Gewebe. Dagegen lassen sich diffuse Parenchymveränderungen schwer feststellen.

2.2.5 Darm, Intestinum

2.2.5.1 Bau des Darmes

Der Darmkanal setzt sich aus dem Dünndarm, Intestinum tenue, und dem Dickdarm, Intestinum crassum, zusammen. Die Länge des Darmes beträgt etwa das Fünffache der Körperlänge (Martin, 1923). Die absolute Länge liegt dann bei ca. 1,8 bis 2,0 m. Davon entfallen ca. 1,0-1,5 m auf den Dünndarm und 20-40 cm auf den Dickdarm. Der Darmkanal stellt einen mit Verdauungsschleimhaut (einschichtiges Zylinderepithel) ausgekleidetes Muskelrohr (glatte Muskulatur) dar, das vom Pylorus bis zum After reicht und zahlreiche Windungen, Schlingen, Verengungen und Erweiterungen besitzt (Berg, 1995).

Der Dünndarm, auch Mitteldarm genannt, besteht aus dem Zwölffingerdarm (Duodenum), dem Leerdarm (Jejunum) und dem Hüftdarm (Ileum). Das Duodenum, welches ca. 10-15 cm lang ist, beginnt rechts der Medianen am Pylorus des Magens. Durch das Lig. hepatoduodenale ist der Anfangsteil, Pars cranialis duodeni, mit der Leber verbunden. Über die Flexura duodeni cranialis geht es in den absteigenden Schenkel, Pars descendens duodeni über, in dessen relativ langem Gekröse sich der Lobus pancreatis dexter befindet. Die Pars descendens duodeni wird ventral nicht vom Großen Netz bedeckt. Die Flexura duodeni caudalis verläuft nach links und umfaßt dabei den Blinddarm und die kraniale Gekröseswurzel von kaudal. Sie setzt sich links von der Pars descendens duodeni kranial fort (Pars ascendens duodeni) und ist mit Hilfe der Plica duodenocolica mit dem Colon descendens verbunden.

Sie geht links von der A. mesenterica cranialis mit der Flexura duodenojejunalis in das Jejunum über, welches bei der Katze aus 6 bis 8 Schlingen besteht (König, 1992).

Der Endabschnitt des Dünndarms, das Ileum, ist relativ kurz und durch die Plica ileocaecalis gekennzeichnet. Das Ileum mündet zwischen Caecum und Colon ascendens im Ostium ileale in den Dickdarm. Das Ostium ileale befindet sich in Höhe der ersten beiden LW und ist von einem Schleimhautringwall umgeben.

Der Dickdarm besteht aus dem Blinddarm (Caecum), dem Grimmdarm (Colon) und dem Mastdarm (Rectum). Der Blinddarm der Katze ist auffallend klein (ca. 2-3 cm) und von kommaförmiger Gestalt. Er wirkt wie ein divertikelförmiges Anhängsel des Colon ascendens. Der Grimmdarm (Colon) gliedert sich in den aufsteigenden (Colon ascendens), den quer liegenden (Colon transversum) und den absteigenden (Colon descendens) Schenkel.

Das Colon ascendens geht aus dem Blinddarm hervor, dort wo der Hüftdarm einmündet. Es zieht rechts der Medianen kranial, liegt medial der Pars descendens duodeni und ventral der rechten Niere. Es geht in nach links gerichtetem Bogen, zwischen Magen und kranialer Gekrösewurzel, in das Colon transversum über. Durch eine weitere Kaudalbiegung zieht der Grimmdarm als Colon descendens dorsal und links beckenwärts, strebt der Medianebene zu und tritt in Höhe des Os sacrum in den Mastdarm über, welcher schließlich im After, Anus, endet (Klesty, 1984).

2.2.5.2 Lage und Lageveränderungen

Das Duodenum geht rechts der Medianebene aus dem Pylorus hervor, verläuft als Pars cranialis duodeni etwas kranial, um in Höhe des 9. I.K. mittels der Flexura duodeni cranialis nach rechts und dorsal in die Pars descendens duodeni überzugehen. Das Duodenum verläuft dann bis zur Höhe des 5. oder 6. LW, um dort mit der Flexura duodeni caudalis von rechts nach links als Pars ascendens weiterzuziehen (Berg, 1995). Das Duodenum und das Colon sind durch ihre Bänder fester mit der dorsalen Bauchwand verankert als das an einem langen Gekröse hängende Jejunum, wodurch sie geringfügigeren Lageverschiebungen ausgesetzt sind (Klesty, 1984).

Das Jejunum nimmt mit seinen Schlingen den ventrolateralen Bauchraum zwischen Magen und Leber einerseits und Beckeneingang andererseits ein. Die Schlingen liegen ventral vom Colon und auch ventral des Duodenums. Das Große Netz schiebt sich zwischen Jejunum und ventraler Bauchwand ein und umhüllt diesen Raum schürzenähnlich. Das lange Gekröse ist die Ursache, daß sich die Jejunumschlingen überall da einschieben, wo Platz ist.

So gibt es daher bei jedem Tier einen etwas abweichenden Verlauf dieser Darmschlingen. Das Ileum liegt in Höhe des 1. und 2. LW und geht hier in das Colon ascendens über. Der Blinddarm verändert seine Lage zusammen mit dem Hüftdarm und dem sehr kurzen Colon ascendens, welches sich bis zur Höhe des 11.-12. I.K. erstreckt, wo es einem links gerichteten Bogen in das Colon transversum übergeht. Das Colon descendens ist mit seinem kurzen Gekröse gut mit der dorsalen Bauchwand fixiert und verschiebt sich nur geringfügig. Bei einer Katze in Rückenlage zeigt der Darm deutliche Abweichungen vom Normalverlauf. Das Jejunumkonvolut bildet ein längsverlaufendes Darmpaket, aber überlagert dabei nicht das Colon descendens. Es drückt das Duodenum ascendens kaudal und das Colon ascendens und

das Caecum kraniallateral, wobei das Caecum die rechten Leberlappen berührt. Das Colon bildet in dieser Körperstellung keine ausgeprägte U-förmige Schleife.

Bei adipösen Tieren in Rückenlage verschieben sich die Jejunumschlingen mehr kaudal und medial, so daß das Caecum, das Colon ascendens und das Colon transversum von ventral her nicht bedeckt werden. Hat die Katze in Rückenlage einen leeren Magen, so ist das Duodenum descendens nach rechts und kranial verlagert. Ventromedial und parallel zum Duodenum descendens verläuft das Colon ascendens kranial. Das Colon transversum liegt dem linken Pankreasschenkel an. Links ist ein Teil des Colon ascendens und rechts das Duodenum descendens frei von Leerdarmschlingen zu erkennen (Klesty, 1984).

Befindet sich das Tier in Bauchlage und ist der Magen stark gefüllt, verschieben sich die Jejunumschlingen zur rechten Körperhälfte hin und gelangen lateral über das Colon ascendens. Das Ileum wird dorsolateral gegen die Bauchwand gedrückt und das Colon mehr in die Medianebene verdrängt. Im Gegensatz dazu füllen die Jejunumschlingen bei einer Katze in Bauchlage mit leerem Magen gleichmäßig den ventralen Bauchraum aus. Der Blinddarm ist weit kraniallateral verschoben und stößt an den rechten Leberlappen. Anatomisch und klinisch interessant sind die Lageveränderungen bei der an den Beckengliedmaßen aufgehängten Katze. Die Jejunumschlingen sind weit in den intrathorakalen Teil der Peritonealhöhle, zwischen Magen und Leber, verschoben. Das Duodenum descendens beginnt weit kranial im 9. I.K. und liegt der rechten Bauchwand an. Das Colon verläuft kranial breit U-förmig, um kaudal als Pars descendens von der Harnblase nach links an die Bauchwand verlagert zu werden.

2.2.5.3 Blut- und Nervenversorgung

Die arterielle Versorgung übernehmen zum größten Teil Äste der A. mesenterica cranialis und der A. mesenterica caudalis. Der Anfangsteil des Duodenum wird durch die A. pancreaticoduodenalis cranialis, einem Ast der A. hepatica versorgt.

Der restliche Teil des Duodenum wird durch die A. pancreaticoduodenalis caudalis, einem Ast der A. mesenterica cranialis, versorgt. Die A. mesenterica cranialis entspringt bei der Katze ca. 1 cm kaudal der A. coeliaca als strohhalmstarkes Gefäß aus der Ventralwand der Aorta abdominalis (Pott, 1949). Sie versorgt neben dem kaudalen Teil des rechten Pankreasschenkels und des Duodenum descendens (über die A. pancreaticoduodenalis)

folgende Gebiete des Dünndarmes und Abschnitte des Dickdarmes: das Jejunum (Aa. jejunales), das Ileum, Caecum und das Colon ascendens über die A. ileocolica. Äste der A. ileocolica versorgen den proximalen Teil des Colon ascendens, das Caecum (über die A. caecalis) und das Ileum (über den Ramus ilei mesenterialis und Ramus ilei antimesenterialis). Die A. colica dextra und die A. colica media zweigen ebenfalls aus der A. mesenterialis cranialis ab. Die erstere versorgt den distalen Abschnitt des Colon ascendens und den proximalen Abschnitt des Colon transversum. Die A. colica media versorgt den restlichen Teil des Colon transversum und den proximalen Abschnitt des Colon descendens (Hudson u. Hamilton, 1993). Das dritte unpaare Gefäß, welches aus der Aorta abdominalis entspringt, ist die A. mesenterica caudalis, welche den distalen Abschnitt des Colon descendens (über die A. colica sinistra) und den proximalen Abschnitt des Rektums (über die A. rectalis cranialis) versorgt (Hudson u. Hamilton, 1993).

Der venöse Abfluß erfolgt über die V. portae. Das Blut gelangt über die V. portae in die Leber, wo es in den Lebersinusoiden gefiltert und dann über die V. cava caudalis der systemischen Zirkulation wieder zugeführt wird. Eine Ausnahme bildet der kaudale Abschnitt des Rektums. Hier erfolgt der venöse Abfluß direkt in die V. cava caudalis.

Die Lymphgefäße des Darmes gelangen zu folgenden Lymphknotengruppen: Lnn. portales, pancreaticoduodenales, mesenterici craniales, jejunales, caecales, colici, mesenterici caudales und rectales.

Die Innervation der einzelnen Darmabschnitte erfolgt durch den N. vagus und den N. sympathicus mit ihren Geflechten, den Plexus coeliacus, den Plexus mesentericus cranialis und dem Ganglion mesentericum caudale.

2.2.5.4 Darstellungsmöglichkeiten des Darmes

Die Röntgendiagnostik als bildgebendes Verfahren ist zur Untersuchung der Abschnitte von Dünn- und Dickdarm von großer Bedeutung. Die Abschnitte des Dünndarms, Duodenum, Jejunum und Ileum, lassen sich auf Leeraufnahmen nicht voneinander abgrenzen. Der Dünndarm ist auf lateralen und ventrodorsalen Leeraufnahmen gut an seinem inhomogenen Inhalt aus Futterbestandteilen und Gas zu erkennen. Bei Katzen enthält der Dünndarm gewöhnlich weniger Gas als bei Hunden (Kealy, 1991). Für eine genaue Untersuchung ist der Einsatz eines Kontrastmittels notwendig. Vorbereitung des Patienten und Verwendung der

verschiedenen Kontrastmittel erfolgen wie bei der Untersuchung des Magens, jedoch sollte bei Darmuntersuchungen das Kontrastmittel höher dosiert werden, um eine optimale Füllung des Darmes zu erreichen. Auch muß darauf geachtet werden, daß bei Verdacht einer Darmperforation anstelle von Barium organische Jodverbindungen eingesetzt werden. Ventrodorsal- und Lateraltaufnahmen werden unmittelbar nach Kontrastmitteleingabe, dann 1 Stunde lang alle 20 Minuten, danach stündlich angefertigt, bis der Großteil des Bariums das Kolon erreicht hat (Kealy, 1991). Bei Verwendung von Jodkontrastmitteln wird die erste Aufnahme direkt nach der Eingabe und 5 Minuten später angefertigt. Danach sollte für 1 Stunde alle 15 Minuten und danach stündlich geröntgt werden, bis das Kontrastmittel das Kolon erreicht hat. Bei Verwendung von Jod wird häufig beobachtet, daß die Organe des Harntraktes angefärbt werden, weil das Jod resorbiert und im Anschluß über die Nieren ausgeschieden wird. Bei Überdosierung oder zu konzentriertem Kontrastmittel können Details im Darm überdeckt werden. Die Bildschärfe läßt sich verbessern, indem man ein Kompressorium über die Bauchdecke legt und so den negativen Einfluß der Atmung herabsetzt. Das Kompressionsband darf aber nicht zu fest anliegen. Eine Bildverbesserung kann auch durch Schaffung eines Pneumoperitoneums erreicht werden. Der Dünndarm sollte normalerweise gleichmäßig über den gesamten Peritonealraum verteilt liegen. Das Duodenum liegt relativ fest fixiert in der Bauchhöhle und ist auf Leeraufnahmen häufig nicht zu sehen. Jejunum und Ileum sind dagegen sehr beweglich. Meist sieht man Gas und Flüssigkeit innerhalb des Darmrohres (Kealy, 1991).

Das Normalbild des Duodenums der Katze zeigt eine Segmentierung und ist mit einer Perlenkette vergleichbar. Bei Katzen ist die Zeichnung der Mucosa des Dünndarmes nicht so deutlich wie beim Menschen. Bei einer Bariumuntersuchung sieht man eine zarte, feinzottige Zeichnung. Die Oberfläche erscheint leicht rau, und häufig umgibt ein schwacher Hof die Kontrastmittelsäule. Dieses Phänomen ist stärker ausgeprägt, wenn organische Jodkontrastmittel verwendet wurden. Bei normalen Kontraststudien erscheint das Kontrastmittel immer homogen und bildet während der Passage durch den Darm eine kontinuierliche Säule (Kealy, 1991).

Der Darmdurchmesser soll immer gleichmäßig sein. Dabei sollte das gefüllte Duodenum etwas weiter erscheinen als das Jejunum und das Ileum. Die peristaltischen Wellen sind als Kontraktionen am Darm zu sehen. Es sind immer mehrere Aufnahmen notwendig, um sicherzustellen, daß die Kontraktionen sich in Lage und Form verändern.

Es dürfen keine Füllungsdefekte erkennbar sein. Die normale Passagezeit des Bariums beträgt bei der Katze ca. 1-2 Stunden. Bei der Verwendung von Jodpräparaten verkürzt sich die Passagezeit. Im Durchleuchtungsbild sieht man, wie peristaltische Wellen über die einzelnen Abschnitte des Darmes laufen und das Kontrastmittel vorwärts schieben. Sekundärwellen verursachen einen retrograden Fluß, dadurch ergibt sich manchmal ein Bild von Wirbeln (Kealy, 1991). Es wurde aber auch beschrieben, daß solche umgekehrten peristaltischen Wellen beim gesunden Duodenum nicht auftreten.

Erkrankungen des Dünndarms können auf Übersichtsaufnahmen gesehen werden, wenn sie zu einer abnormalen Röntgendichte im Darmlumen führen. Kotähnlicher Dünndarminhalt (Dichte = Mischung aus Weichteil und Kot) ist ein Hinweis auf einen mechanischen Ileus mit ausgetrocknetem Darminhalt proximal der Stenose. Metalledichter Darminhalt kann ein Hinweis auf toxisches Material wie Schwermetalle (z.B. Blei), aber auch über Galle und Dünndarm ausgeschiedenes Kontrastmittel nach einem intravenösen Urogramm bei schweren Nierenversagen sein (Burk u. Ackermann, 1991). Veränderungen der Lage des Dünndarmes sind relativ schwer zu beurteilen. Verlagerungen des Dünndarmes werden häufig durch Lage-, Größe- und Formveränderungen anderer abdominaler Organe verursacht. So kann der Dünndarm durch eine Lebervergrößerung oder Magenerweiterung kaudal verlagert werden. Dagegen verdrängt eine Harnblasenerweiterung den Dünndarm kranial. Nierenvergrößerungen oder andere retroperitoneale Raumforderungen verlagern den Dünndarm ventral und lateral, je nachdem, wo der auslösende Prozeß liegt. Tumore oder Entzündungen des Pankreas, Milztumore oder eine gestaute Milz, Zysten oder Tumore an den Ovarien, sowie Vergrößerungen des Uterus (Trächtigkeit oder Tumore) können benachbarte Darmabschnitte verdrängen. Verlagerung von Dünndarm in den Thorax werden bei Zwerchfellhernien gesehen. Bruchsäcke, die Darm enthalten, können auch bei Bauchwandhernien, parakostalen und inguinalen Hernien sowie Perinealhernien beobachtet werden. Dünndarmschlingen, die auf einen linearen Fremdkörper aufgefädelt sind, liegen oft auf der rechten Seite des Abdomens. Typisch sind die Auffädung des Darmes über dem Fremdkörper, der unregelmäßige, vergrößerte Darmdurchmesser (wie Akkordeonfalten oder Girlanden) und die ausgesprochen wellenförmige Serosaoberfläche des Darmes (Burk u. Ackermann, 1991). Strahlendichte Fremdkörper lassen sich im allgemeinen leicht identifizieren. Strahlendurchlässige Fremdkörper, wie Gummibälle oder Plastikteile, können erkannt werden, wenn sie Luft enthalten oder von Luft umgeben sind. Der wichtigste Befund

bei Veränderungen der Dünndarmgröße und -form ist die Dilatation. Im Normalfall ist der Durchmesser des Darmes kleiner als die Breite eines LW, gemessen auf der ventrodorsalen Aufnahme. Die Dicke der Darmwand kann man immer dann beurteilen, wenn die Außenkontur des Darmes erkennbar und Gas im Lumen vorhanden ist. Die Darmwand sollte nicht dicker sein als ein Achtel bis ein Viertel des Lumendurchmessers (Owens, 1989).

Der Dickdarm ist normalerweise schon auf Leeraufnahmen gut zu sehen, da er meist mit Fäzes und Gas gefüllt ist. Für genauere Untersuchungen ist auch hier ein Kontrasteinlauf notwendig. Vor dem Einlauf sollte man die Tiere 18-24 Stunden fasten lassen. Zusätzlich sollte 12 Stunden vor der Untersuchung ein mildes Laxans verabreicht werden. Vor der Untersuchung sollte das Kolon unter tiefer Sedierung mit lauwarmem Wasser gespült werden. Nach der Reinigung werden Leeraufnahmen in Seiten und Rückenlage angefertigt. Über einen Rektalkatheter mit aufblasbarer Manschette wird das Kontrastmittel appliziert. Die Applikation sollte langsam durch Schwerkraft über einen Irrigator erfolgen, wobei ungefähr 20-30 ml Kontrastmittel pro kg Körpermasse benötigt werden. Das Kontrastmittel sollte eine Temperatur haben die geringfügig unter der Körpertemperatur liegt. Nach der Eingabe sollten in rascher Folge Aufnahmen angefertigt werden um den Füllungszustand zu prüfen. Ventrodorsalaufnahmen sind dazu am besten geeignet. Ist das Colon gefüllt, werden laterale und ventrodorsale Aufnahmen angefertigt. Anschließend sollte es entleert und danach erneut in beiden Ebenen geröntgt werden. Zum Abschluß wird über eine Spritze soviel Luft appliziert, daß das Colon vollständig gefüllt ist. Dann werden sofort einmal Aufnahmen in lateraler und ventrodorsaler Projektion angefertigt. Da Barium immer in gewissem Ausmaß an der Schleimhaut haftet, ergibt sich so ein Doppelkontrastbild, wobei man eventuell vorhandene Kotreste nicht mit Schleimhautläsionen verwechseln darf (Kealy, 1991).

Auf Leeraufnahmen ist das Colon, entsprechend dem Füllungszustand unterschiedlich gut zu erkennen. Auf einer Lateralaufnahme liegt es ungefähr parallel zur Wirbelsäule etwa in der Mitte zwischen Wirbelsäule und ventraler Bauchwand.

Bei einer Ventrodorsalaufnahme befindet sich das Colon ascendens rechts und das Colon descendens links der Wirbelsäule. Der Durchmesser des normalen Colons ist maximal dreimal so groß wie der des Dünndarmes. Bei übermäßiger Dilatation des Colons muß man an Colonobstruktion, Megacolon und Obstipation denken. Veränderungen der Röntgendichte haben im Colon häufig Anschoppungen mit Fremdmaterial (z.B. Steine) oder Kot (Colonobstipation) als Ursache. Ventralverlagerungen des Colons können durch

raumfordernde Prozesse an der linken Niere, retroperitoneale Blutungen oder linksseitige sublumbale raumfordernde Prozesse hervorgerufen werden. Milz-, Uterus- oder Harnblasenvergrößerung können eine Dorsalverlagerung des Colons verursachen. Raumfordernde Prozesse am linken Ovar, eine Vergrößerung des linken Uterushornes oder ein sublumbaler raumfordernder Prozeß links können das Colon nach rechts verdrängen. Eine Linksverlagerung des Colons kann durch einen raumfordernden Prozeß am Dünndarm oder Mesenterium verursacht werden. Eine weitere Ursache kann auch eine vergrößerte Harnblase sein.

Das Caecum der Katze ist klein und kegelförmig. Es liegt parallel zum Ileum, zeigt aber keinen wirklichen Anschluß daran. Auch das Caecum kann durch raumfordernde Prozesse oder Vergrößerung benachbarter Organe verlagert werden. Ventralverlagerungen des Rectums liegen häufig im Eingang des Beckenkanals und können auf der lateralen Aufnahme gesehen werden. Ursachen sind fast immer sublumbale Lymphknotenvergrößerungen und andere retroperitoneale raumgreifende Prozesse wie Tumoren des Beckenkanals selbst. Dorsalverlagerungen werden durch pathologische Zubildungen im ventralen Hypogastricum verursacht und sind meistens ein Hinweis auf eine vergrößerte Prostata oder Tumoren der Urethra (Burk u. Ackermann, 1991).

Für die Ultraschalluntersuchung des Darmes gilt die gleiche Vorgehensweise wie im Abschnitt „Magen“ beschrieben. Nachdem man den Magenfundus aufgesucht hat und den Schallkopf nach rechts bewegt, um Antrum pyloricum und Pylorus darzustellen, fährt man weiter kaudal und folgt dem Duodenum. Der restliche Dünndarm kann von der Mitte der ventralen Bauchwand her dargestellt werden. Die Auswertung ist durch intraluminales Gas schwierig. Der Dünndarm ist dann gut sichtbar, wenn er mit Flüssigkeit gefüllt ist. Es lassen sich schmale tubuläre Strukturen im Längs- oder Querschnitt mit einem echoarmen oder -freien Inhalt erkennen. Auch kann man flüssigkeitsgefüllte Därme von Blutgefäßen oder einem flüssigkeitsgefüllten Uterus unterscheiden. Der Dickdarm enthält häufig Kot, so daß zuerst ein Einlauf gegeben werden muß. Unter Sedation wird warmes Wasser oder physiologische Kochsalzlösung ins Colon instilliert und dieses dann als flüssigkeitsgefüllte Struktur sonographisch dargestellt. Da Bariumsulfat die Bildqualität beeinträchtigt, muß die Ultraschalluntersuchung vor der Bariumkontrastuntersuchung durchgeführt werden. Wasserlösliche, jodhaltige Kontrastmittel dagegen stören nicht (Barr, 1992). Die Bedeutung des konventionellen Ultraschalls bei der Untersuchung des Darmtraktes ist begrenzt.

So sind erweiterte Dünndarmschlingen bei paralytischem Ileus oder mechanischer Obstruktion nur sichtbar, wenn sie Flüssigkeit enthalten. Eine Darmwanddiagnostik ist mit konventionellem Ultraschall nur begrenzt möglich, jedoch sind massive Darmwandverdickungen sichtbar. Das sonographische Aussehen von abdominalen Massen intestinalen Ursprungs ist recht typisch. In der Regel sind sie rundlich, recht gut umschrieben und echoarm. Das Zentrum der Masse ist im typischen Fall echoreich wegen der akustischen Grenzfläche zwischen Mukosaoberfläche und dem Lumen.

Wenn im Lumen verkalkte Partikel vorhanden sind, werden Schallschatten sichtbar.

Die Endoskopie (Koloskopie) ist heute bei der Katze von hohem diagnostischen Wert. Soll nur das Colon descendens untersucht werden, so kann man ein starres Koloskop mit einer Länge von 15-20 cm und einem Durchmesser von 12-16 mm verwenden. Zu einer vollständigen Untersuchung des Colons sind flexible Endoskope mit einer Länge von 90-110 cm und einem Durchmesser von 7-9 mm notwendig. Grundlage für die Untersuchung ist die Freiheit des Colons von jeglichen Fäzes. Deshalb sollte man die Tiere 24 Stunden vor der Untersuchung hungern lassen und Glaubersalz 24 Stunden vor der Koloskopie eingeben. Ca. 1-2 Stunden vor der Untersuchung kann man den Tieren ein Klyisma mit warmer Vollelektrolytlösung oder physiologischer Kochsalzlösung verabreichen. Im Anschluß kann das Tier sediert werden (Kraft, 1993). Die Untersuchung erfolgt in Brust- oder Rechtsseitenlage, bei der Untersuchung auch des Colon transversum und des Colon ascendens jedoch in Linksseitenlage. Vor der eigentlichen Untersuchung sollte das Endoskop mit Gleitmittel bestrichen werden, jedoch nicht die Optik. Nach dem Einführen in den Anus muß eine ständige Luftinsufflation erfolgen bis das Lumen sichtbar wird. Nach Erreichen des Colon transversum wird die Gerätespitze aufgerichtet, vorsichtig weiter geschoben und bei Bedarf insuffliert. Das Erreichen des Colon transversum wird erkenntlich an der halbmondförmigen Öffnung nach oben. Unter größter Vorsicht und langsamer Rechts- Links- Drehung des Endoskops überwindet man nach 2-4 cm das Colon transversum und erreicht das Colon ascendens. Unter Sichtkontrolle wird die Spitze erneut aufgerichtet, und unter ständiger Luftinsufflation erreicht man das Ostium caecocolicum. Da das Caecum der Katze sehr klein ist, sollte dessen Untersuchung mit größter Vorsicht erfolgen. Der Zugang zum Ileum ist oft geschlossen und erscheint leicht bis stark vorgewölbt. Nun kann das Endoskop unter permanenter Sichtkontrolle zurückgezogen, die Schleimhaut beurteilt und eventuell Biopsieproben entnommen werden. Die Beurteilung erfolgt nach Farbe, Struktur,

Auflagerungen (Sekret, Blut), Oberflächenveränderungen, Elastizität, Parasiten und extramuralen raumfordernden Prozessen. Besonders aber in der Tumordiagnostik im Dickdarmbereich spielt die Endoskopie eine wichtige Rolle.

2.2.6 Niere, Ren, und Harnleiter, Ureter

2.2.6.1 Bau der Nieren und der Harnleiter

Die Katzennieren sind einwarzig und glatt, verhältnismäßig groß und von gelbroter Farbe. Sie haben eine sehr typische gedrungene Bohnenform, teilweise zur Kugelform tendierend. Man unterscheidet zwischen einem kranialen und einem kaudalen Nierenpol. Die Länge der Niere beträgt im Durchschnitt 38-44 mm, die Breite 27-31 mm und die Dicke 20-25 mm. Zusammen wiegen beide Nieren ca. 15-30 g. Die Niere selbst ist von einer eigenen bindegewebigen Kapsel (Capsula fibrosa) umgeben. Am Nierenhilus geht diese in die Adventitia des Nierenbeckens, des Harnleiters und der hier befindlichen Gefäße über. Das aus der Verschmelzung von Nierenlappen (Lobi renales) entstandene Nierenparenchym weist zwei Regionen, die Nierenrinde (Cortex renis) und das Nierenmark (Medulla renis) auf (König, 1992).

Die Nierenrinde setzt sich aus der außen gelegenen Zona peripherica und der marknahen Zona juxtamedullaris zusammen. Daran schließt sich das Nierenmark an. In der Niere finden sich einerseits die harnbereitenden Kanälchen mit den dazugehörigen Nierenkörperchen, andererseits das System der leitenden Sammelrohre. Das Nephron ist die funktionelle Einheit von Nierenkörperchen und harnbereitenden Kanälchen. In einer Niere kommen ca. 200000 bis 500000 Nephrone vor. Das Nierenkörperchen, Corpusculum renale, besteht aus einem arteriellen Gefäßknäuel (Glomerulus), welches von einer doppelwandigen Kapsel (Capsula glomeruli) umgeben ist. Am Gefäßpol zieht die afferente Arteriole hinein und tritt hier nach ihrer Aufknäuelung als efferente Arteriole wieder heraus. Am gegenüberliegenden Harnpol beginnt das Kanälchensystem (König, 1992).

Nach schleifenförmigem Verlauf münden mehrere harnbereitende Kanälchen in ein Sammelrohr. Mehrere Sammelrohre fließen schließlich zusammen und öffnen sich als Ductus papillaris in das Nierenbecken, den ersten Teil der harnableitenden Wege. Die Ductus papillares münden porenartig (Area cribrosa) in das Nierenbecken.

Von außen nach innen besitzt es eine bindegewebige Adventitia, eine schmale Muscularis und eine Mucosa mit polygonalem Urothel.

Am Nierenbecken findet sich ein kleiner, trichterförmiger zentraler Hohlraum, in den die miteinander verwachsenen Pyramidenspitzen als Crista renalis hineinragen. Diesem zentralen Abschnitt des Nierenbeckens sind 8-10 doppelbuchtige taschenförmige Ausstülpungen (Recessus pelvis) angefügt, die zwischen je zwei benachbarte Pseudopapillen hineinragen. Vom Nierenbecken, Pelvis renalis, wird der Harn über den Harnleiter, Ureter, in die Harnblase geleitet.

Der Harnleiter beginnt unter allmählicher Lumenabnahme am Nierenbecken im Bereich des Hilus renalis und stellt einen relativ engkalibrigen, häutig – muskulösen Schlauch dar. Dem Verlauf in der Bauch- und Beckenhöhle entsprechend unterscheidet man eine Bauch- und Beckenportion des Harnleiters, Pars abdominalis und Pars pelvina. Die Pars abdominalis wendet sich nach dem Austritt aus dem Hilus renalis zunächst in engem Bogen um rund 90° kaudal und verläuft beiderseits der Medianebene und ventral der inneren Lendenmuskulatur retroperitoneal, von mehr oder weniger Fettgewebe eingehüllt, an der dorsalen Bauchwand beckenwärts, wobei sie die seitlich von der Aorta abdominalis und der V. cava caudalis abgehenden Blutgefäße ventral überquert. Die Pars pelvina tritt in die Plica urogenitalis ein und überkreuzt den beim männlichen Tier ebenfalls darinliegenden Samenleiter dorsal (Koch u. Berg, 1990). Der Harnleiter erreicht die Harnblase von dorsal und durchbricht in schrägem Verlauf deren Wand (Ostium ureteris) an der Grenze zwischen Corpus und Cervix. Der Aufbau der Wand des Harnleiters ist der des Nierenbeckens ähnlich, wobei die Tunica mucosa Längsfalten aufweist. Die Muscularis ist hier jedoch stärker aufgebaut. Sie besteht aus drei Lagen mit einander überkreuzenden Faserrichtungen.

2.2.6.2 Lage und Lageveränderungen

Die Nieren sind, in unterschiedlich stark ausgebildeten Fettkapseln, Capsulae adiposae, im extrathorakalen Teil der Bauchhöhle eingebettet. Sie sind gut tastbar. Die rechte Niere liegt unterhalb des 1. bis 4. Lendenwirbelquerfortsatzes und berührt mit ihrer Dorsalfläche den Zwerchfellpfeiler sowie die Lendenmuskulatur. Der kraniale Pol reicht in die tiefe Impressio renalis der Leber hinein und stößt ventral an das Duodenum descendens und Pankreas.

Die linke Niere liegt unter dem 2. bis 5. Lendenwirbelquerfortsatz und ist durch ihre lockere

Verbindung mit der dorsalen Bauchwand größeren Lageverschiebungen als die rechte Niere ausgesetzt. Lateral hat die linke Niere Kontakt zur Milz und Bauchwand, ventromedial zum Colon descendens und kranial zum Lobus pancreatis sinister. Jedoch ist die rechte Niere nicht immer kranial von der linken Niere gelegen. In Abhängigkeit von der Körperstellung und dem Ernährungszustand kann die linke Niere vor der rechten liegen. Vor allem bei der an den Beckengliedmaßen aufgehängten Katze ist die linke Niere mittels ihres langen Gekröses weiter kranial verlagert. Die rechte Niere ist durch das Lig. hepatorenale am Proc. caudatus der Leber fixiert und kann sich deshalb nur geringfügig verlagern. Die beiden Nebennieren sind kranio-medial der Nieren im Fettgewebe lokalisiert (Klesty, 1984).

2.2.6.3 Blut- und Nervenversorgung

Die arterielle Versorgung der Nieren erfolgt durch die jederseits aus der Aorta abdominalis entspringende A. renalis, die sich in Nähe des Hilus renalis in mehrere Äste (Aa. interlobares) aufteilt. Diese verlaufen in den Furchen der doppelbuchtigen, taschenförmigen Ausstülpungen des Nierenbeckens. Am Übergang von Nierenrinde zu Nierenmark verzweigen sich die Aa. interlobares in mehrere Aa. arcuatae, welche bogenförmig unterhalb der Rindensubstanz verlaufen. Aus ihnen gehen wiederum, in radiärem Verlauf zur Nierenrinde, die Aa. interlobulares hervor. Von diesen zweigen die Arteriolen glomerulares afferentes ab, die zum Gefäßpol des Nierenkörperchens ziehen und hier den Glomerulus bilden. Das aus dem Gefäßpol austretende Gefäß ist die Arteriola glomerularis efferens. Die efferenten Arteriolen der marknah gelegenen Glomeruli können zu Arteriolen rectae, die das Nierenmark versorgen, werden. Ähnliche gerade Arterien werden auch aus den Aa. arcuatae entlassen. Die Vasa efferentia der übrigen Glomeruli münden in das Kapillargebiet der Nierenrinde, welches das Kanälchensystem umspinnt. Aus den Aa. interlobulares entspringen weiterhin die Rr. capsulares, die die Nierenkapsel und das umliegende Nierenfett versorgen (Hudson u. Hamilton, 1993).

Aus den Kapillaren des Nierenmarkes und der Nierenrinde werden Venen. Die zentral verlaufenden Venolen bilden die Vv. interlobulares, die in die Vv. arcuatae, diese wiederum in die Vv. interlobares und in die V. renalis zusammenfließen (König, 1992). Die V. renalis stellt einen großkalibrigen Ast der V. cava caudalis dar. Peripher verlaufende Vv. interlobulares münden in die für Katzennieren charakteristischen Vv. capsulares, welche sich

hiluswärts zu größeren Stämmen vereinigen und ebenfalls in die Nierenvene einmünden.

Diese Vv. capsulares sind in seichte, zum Nierenhilus konvergierende Furchen eingebettet. Sie verleihen der Katzenniere ihr typisches Aussehen.

Die Lymphdrainage des Nierengebietes erfolgt über den Ln. renalis und den Ln. lumbalis aorticus. Die Nervenversorgung obliegt Ästen des N. vagus und N. sympathicus.

2.2.6.4 Darstellungsmöglichkeiten der Nieren und Harnleiter

Röntgenologisch sind die Nieren normalerweise sehr gut zu erkennen, da sie retroperitoneal in einem stark ausgebildeten Fettpolster liegen. Das Fett wirkt hierbei durch seine höhere Strahlendurchlässigkeit gegenüber anderen Weichteilgeweben als kontrastgebendes Medium. Beide Nieren sollen gleichgroß sein. Dabei kann als physiologische Größe das 2 bis 2,5 fache der Länge des 2. LW angenommen werden (Hartung, 1998). Dieses Maß kann eng ausgelegt werden. Es sollte jedoch nur in ventrodorsaler Projektion überprüft werden, da rechte und linke Niere eng zusammenliegen, so daß in Seitenansicht die Messung der einzelnen Niere sehr erschwert ist. Die Überlagerung kann dabei so stark sein, daß das irritierende Bild einer kreisrunden, sehr schattengebenden Verdichtung entstehen kann (Münzer, 1984).

Neben der konservativen Röntgenuntersuchung der Harnorgane können auch verschiedene Kontrastmittelverfahren eingesetzt werden. Die intravenöse Urographie (IVU) dient zur Untersuchung der Größe, Form, Lage und Dichte der Nieren und vor allem des Harnsammelapparates (eigentliches Nierenbecken und Recessus). Beeinflussende Faktoren bei dieser Untersuchung sind einerseits die Filtrationsrate der Kontrastmittel in den Glomeruli. Jede Verminderung der Filtrationsrate führt daher zur verminderter Ausscheidung des Kontrastmittels und zu herabgesetzter Röntgendichte. Andererseits spielt die Wasserrückresorption in den Nierentubuli eine Rolle. Da die Nierentubuli das Kontrastmittel nicht resorbieren können, wird der Kontrast und die Darstellung des Nierenbeckens um so besser, je mehr Wasser von den Nierentubuli absorbiert wird.

Als Kontrastmittel verwendet man organische und wasserlösliche Jodverbindungen. Die normalen Nieren haben immer eine glatte, regelmäßige Kontur. Bei Kontrastuntersuchungen sollten immer beide Nieren deutlich dargestellt sein, wobei das Parenchym gleichmäßig dicht sein muß, die Oberfläche glatt und regelmäßig. Das Sammelsystem sollte in Form von paarigen Kanälen erkennbar sein, die vom Mark bis zum Nierenbecken reichen.

Die Ureteren sollten gut erkennbar sein (Kealy, 1991). Bei erkrankten Nieren können Größe, Form, Position und / oder die Dichte verändert sein. Das Fehlen eines Nierenschattens auf der Kontrastaufnahme kann sowohl das Fehlen einer Niere bedeuten als auch ein Hinweis auf eine Störung der Ausscheidung des Kontrastmittels durch die Niere sein. Das Fehlen eines Nierenschattens auf Leeraufnahmen kann ebenfalls das Fehlen einer Niere zur Ursache haben, aber auch durch fehlendes perirenales Fett oder durch einen retroperitonealen Krankheitsprozeß hervorgerufen sein. Beide genannten Prozesse vermindern den Kontrast in dieser Region (Kealy, 1991).

Eine Nierenvergrößerung (bilaterale oder unilaterale) kann hervorgerufen werden durch Nephritis, Hydronephrose, tumoröse Veränderungen und Zysten. Nierenverkleinerung, welche durch chronische, interstitielle Nephritis, wie auch lokalisierte oder generalisierte Veränderungen (Infarkte, Tumore, Hämatom) entstehen, lassen sich ebenfalls diagnostizieren. Veränderungen der Röntgendichte kommen ebenfalls vor. Ursachen hierfür kann eine primäre Nephrokalzinose, dystrophische Verkalkungen eines Tumors, Infarktes oder Abszesses sein. Auch Nieren- oder Harnröhrensteine lassen sich mit der Röntgendiagnostik finden. Nierensteine kommen in jeder Größe vor und bilden im Nierenbecken ovale oder unregelmäßig geformte Verschattungen. Sie können von erheblicher Größe sein und regelrechte Ausgüsse des Nierenbeckens bilden und sogar den größten Teil des Nierenparenchyms ersetzen.

Die Ultraschalluntersuchung der Nieren nimmt eine wichtige Stellung als diagnostisches Verfahren ein. Die Untersuchung erfolgt in Seitenlage. Die jeweils oben liegende Niere wird von der Flanke her untersucht. Bei der Ausrichtung der Schnittebene des Schallkopfes parallel zur Lendenwirbelsäule ergibt sich ein Sagittalschnitt der Niere. Durch Lagekorrekturen des Schallkopfes lassen sich die Abmessungen der Nieren bestimmen. Die linke Niere ist einfacher zu finden als die rechte, da sie kaudal der letzten Rippe liegt. Bei der Untersuchung der rechten Niere können Schallschatten der Rippen verhindern, daß das gesamte Organ in einem Bild sichtbar ist. Die Nierenkapsel ist als schmale echoreiche Linie sichtbar. An den gekrümmten Polen kann diese Linie fehlen. Die Nierenrinde sollte echoarm und feinkörnig sein. Sie hat gewöhnlich die gleiche oder etwas geringere Echodichte als die Leber. Dabei ist sie deutlich echoärmer als die Milz. Der kraniale Pol der rechten Niere grenzt an den Lobus caudatus der Leber. Auch liegt ein Teil der Milz unmittelbar neben der linken Niere. Somit lassen sich die Echodichten der drei Organe gut vergleichen.

Das Nierenmark ist praktisch echofrei (Barr, 1992). Es ist von Nierenrinde umgeben und durch Pseudopapillen und Gefäße in Sektoren unterteilt. Vereinzelt echoreiche Punkte entlang des korticomedullären Überganges entsprechen den subkortikalen Gefäßen. Der Nierensinus zeigt sich als unregelmäßige, echoreiche Masse. Ursache der Echodichte ist der hohe Anteil an Fett- und Bindegewebe, wodurch auch ein feiner Schallschatten entstehen kann. Das Nierenbecken enthält normalerweise keine Flüssigkeit und ist deshalb nicht zu sehen (Barr, 1992). Auch der normale Ureter ist sonographisch nicht sichtbar.

Dagegen kann der Verlauf der Nierenvene vom Milzhilus zur V. cava caudalis verfolgt werden. Erkrankungen der Niere lassen sich mit Ultraschall über Parenchymveränderungen feststellen. Herdförmige Parenchymveränderungen können ab einer bestimmten Größe erkannt werden, weil sie die normale Binnenstruktur stören oder auch die Nierenkontur verändern können. Nierenabszesse, herdförmige Nierentumore aber auch Zysten lassen sich so diagnostizieren. Kleine metastatische Veränderungen werden aber oft nicht erkannt. Nierentraumen und auch Hämatome lassen sich auch eingrenzen. Im Zweifelsfall sollte eine Biopsie Aufschluß geben. Ebenfalls können Nierentraumata mit Ultraschall beurteilt und die nachfolgenden Veränderungen verfolgt werden. Eine Ansammlung echofreier Flüssigkeit bei subkapsulärer oder perirenal Blutung ist relativ leicht erkennbar. Frische Parenchymblutungen erscheinen sonographisch als echoreiche Streifen oder Flecken. Frische Niereninfarkte sind echoarm und führen zu einer Vorwölbung der Nierenkapsel. Im Gegensatz sind Infarktnarben echoreich und können eine Eindellung an der Nierenoberfläche hervorrufen. Diffuse Parenchymveränderungen (akute diffuse Nierenentzündung, Nierenfibrose, usw.) lassen sich schwieriger feststellen. Hier hilft oft wieder der Vergleich der Echodichte mit anderen Organen bzw. Strukturen. Chronisch diffuse Nierenerkrankungen sind bei der Katze häufig. Dabei findet man oft eine interstitielle Fibrose mit einer Verstärkung der Echodichte der Nierenrinde, die so ausgeprägt sein kann, daß die Nierenrinde echoreicher als die Leber erscheint. Das Ultraschallbild hat bei diffusen Parenchymerkrankungen nur beschränkte Aussagekraft, kann aber bei der Unterscheidung einer akuten von einer chronischen Nierenerkrankung Aufschluß geben. Die häufigste Veränderung der ableitenden Harnwege der Katze besteht in einer Erweiterung des Nierenbeckens und/oder der Ureteren. Sie ist häufig Folge einer Obstruktion, einer aufsteigenden Infektion oder eines ektopischen Ureters. Nierensteine sind sonographisch leicht zu erkennen, denn sie erscheinen unabhängig von ihrer Zusammensetzung als stark

echobildene Flecken oder Linien mit deutlicher Schallschattenbildung. Der Stein kann im Nierenparenchym, im Nierenbecken oder im proximalen Ureter liegen. Steine im mittleren oder distalen Teil des Ureters sind nur bei deutlicher Dilatation des Ureter zu erfassen. Der Vorteil des Ultraschalls liegt darin, daß auch röntgendurchlässige Steine erfaßt werden können. Auch sehr kleine Konkrementen lassen sich darstellen, womit sich die Ultraschalluntersuchung als nichtinvasive Methode zur Überwachung bei der medikamentellen Steinauflösung anbietet (Barr, 1992).

Im Nierenbecken lassen sich auch echoarme Weichteilmassen finden. Dabei handelt es sich oft um Blutkoagula oder auch um Tumore der ableitenden Harnwege.

3. Eigene Untersuchungen

3.1 Material und Methode

3.1.1 Tiermaterial

Durch die Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales wurde der eingereichte Tierversuchsantrag genehmigt (Genehmigungs-Nr. G 0289/95) und ist die Grundlage dieser Arbeit. Die kernspintomographischen Untersuchungen erfolgten an 5 klinisch gesunden Hauskatzen mit einer KM zwischen 2,5 kg und 5,5 kg. Das Alter der drei weiblichen und zwei männlichen Tiere lag zwischen 18 Monaten und 7 Jahren. Sämtliche Tiere stammten von befreundeten Familien und wurden nach der Untersuchung bzw. nach dem Erwachen aus der Narkose sofort in ihre gewohnte Umgebung zurückgebracht. Die Untersuchungen wurden gut überstanden. Zum Anfertigen der Tiefgefrierschnitte und der anatomischen Präparate wurden bereits euthanasierte Katzen aus dem Institut für Veterinär-Anatomie des Fachbereiches Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin verwendet.

3.1.2 Vorbereitung der Tiere für die Kernspintomographie

Um ein Erbrechen zu vermeiden, wurde einen Tag vor der Untersuchung das Futter entzogen. Bei der Untersuchung im Kernspintomographen ist eine ruhige und symmetrische Lagerung der Tiere besonders notwendig. Aus diesem Grunde wurden die zu untersuchenden Katzen

mittels im. verabreichter Ketamin®- Rompun®- Injektion (Ketamin 10 mg/kg KM, Xylazin 2 mg/kg KM) in Narkose gelegt. Über eine Braunüle, welche in die V. saphena lateralis gelegt wurde, konnte bei Bedarf eine Nachdosierung mit Ketamin® erfolgen. Für die Aufnahmen in horizontaler Schichtebene wurde eine Katze mit Tilest® (Tiletamin 15 mg/kg KM i.m.) in Narkose gelegt. Bei dieser Narkose wird bei einmaliger Applikation eine gleichmäßige Wirkungsdauer (ca. 2 Stunden) erreicht. Dies wurde notwendig, weil zur Darstellung der großen Gefäße das Kontrastmittel Magnevist® verwendet wurde und bei einer verlängerten Untersuchungszeit das Tier ruhig liegen mußte. Das Kontrastmittel wurde über eine Braunüle in die V. saphena lateralis injiziert. Die Tiere lagen bei den Untersuchungen auf einem gut gepolsterten Kissen in Rückenlage und waren mit Zellstoffmaterial gegen Unterkühlung und eventuell abfließenden Urin geschützt. Außerdem wurden die Gliedmaßen mit einer Binde gleichmäßig fixiert.

3.1.2 Kernspintomographie-Ausrüstung

Die MRT-Bilder dieser Arbeit wurden in der Radiologischen Abteilung des Universitätsklinikums „Benjamin Franklin“ der Freien Universität Berlin angefertigt. Die kernspintomographischen Untersuchungen wurden mit dem Gerät „Magnetom GBS II“ (B=1,5 T) der Firma Siemens, Erlangen, durchgeführt. Weiterhin stand für einige Aufnahmen in sagittaler und transversaler Schichtebene das Gerät „Biospec BMT 24/40“ (B=2,35 T) der Firma Bruker Medizintechnik GmbH, Ettlingen, zur Verfügung.

3.1.4 Dokumentation

Während der gesamten Untersuchungszeit wurden die MRT-Aufnahmen über einen Computer auf einer Wechselplatte gespeichert und waren so ständig einer weiteren Auswertung zugänglich. Weiterhin wurden einige Aufnahmen über einen Laser-Printer auf dem Kodak-Spezialfilmmaterial „Ektascan DHG“ gespeichert.

Der gesamte Untersuchungsablauf, einschließlich der Narkose- und Aufnahmeparameter, wurde zeitlich und inhaltlich, entsprechend den Vorgaben des Tierschutzgesetzes, protokolliert. Im weiteren Arbeitsablauf erfolgte das Anfertigen der anatomischen Gefrierschnitte. Dabei wurde jedes Präparat nummeriert und tabellarisch eingeordnet, was das

spätere Photographieren und Entwickeln erleichterte.

3.1.5 Anfertigung der anatomischen Präparate

Um eine hohe Übereinstimmung der MRT-Aufnahmen mit den anatomischen Präparaten zu erreichen, müßten die Katzen im Kernspintomographen untersucht, anschließend getötet und präpariert werden. Ein Töten von Katzen zum Anfertigen anatomischer Präparate war durch den Tierversuchsantrag nicht genehmigt und ist im Sinne des Tierschutzes abzulehnen. Es standen 5 Katzen zur Verfügung, welche nach klinischer Indikation euthanasiert werden mußten. Bei der Auswahl der Tiere wurde auf eine hohe Übereinstimmung in Alter, Geschlecht und KM mit den entsprechenden Tieren aus den kernspintomographischen Untersuchungen geachtet. Vor dem Tiefgefrieren war eine exakte Fixierung der Tiere in Rückenlage notwendig.

Das Anfertigen der Gefrierschnitte erfolgte im Institut für Veterinär-Anatomie der Freien Universität Berlin. Nach dem Erreichen einer Kerntemperatur von -24°C wurden mit Hilfe einer Spezialbandsäge die Gefrierschnitte (jeweils ca. 5 mm stark) in der jeweiligen Schnittebene angefertigt. Als Orientierung dienten die entsprechenden MRT-Aufnahmen. Richtungsschienen ermöglichten eine hohe Symmetrie der Schnitte. Im Anschluß mußten die Gefrierschnitte sofort einzeln in Gefrierbeutel verpackt und nummeriert werden. Nach dem erneuten Tiefgefrieren wurden die Gefrierschnitte von Sägepartikeln und Eiskristallen gereinigt. Anschließend erfolgte das Photographieren der Präparate und später das Präparieren und Zuordnen der Organe bzw. Gewebe.

3.1.6 Fototechnik und Bildbearbeitung

Die im Laufe der MRT-Untersuchungen angefertigten Aufnahmen wurden zum Abschluß am Computer nach der Detailerkennbarkeit ausgewertet und eingeordnet. Für die einzelnen Körperebenen konnten so die entsprechenden MRT-Bilder ausgewählt und danach über das Belichtungsgerät „Montage SR I“ auf einen Kleinbildfilm (Schwarz-Weiß-Film, Ilford FP4 Plus) belichtet werden. Die Abzüge erfolgten in einer Größe von 13 x 18 cm.

Für die photographische Darstellung der Gefrierschnittpräparate standen zwei Kleinbild-Spiegelreflexkameras (Canon EOS 1000 N mit einem 50 mm-Makroobjektiv, Nikon F 50 mit

einem 35-80 mm Zoomobjektiv) zur Verfügung. Die Gefrierschnitte wurden auf eine schwarzen Kunststoffplatte gelagert. Die Aufnahmen wurden bei Tageslicht gemacht, welches durch eine graue Folie gefiltert wurde.

Die Lichtauswahl erwies sich als wichtigster Parameter der Bildqualität. Ein langes Experimentieren mit verschiedenen Techniken war notwendig zum Anfertigen qualitativ hochwertiger Abbildungen. Als Filmmaterial haben sich die Kleinbild-Dia-Filme Kodak Elite II und Agfa CTX 200 mit jeweils 200 ASA bewährt . In der Größe 13 x 18 cm wurden Farbabzüge angefertigt.

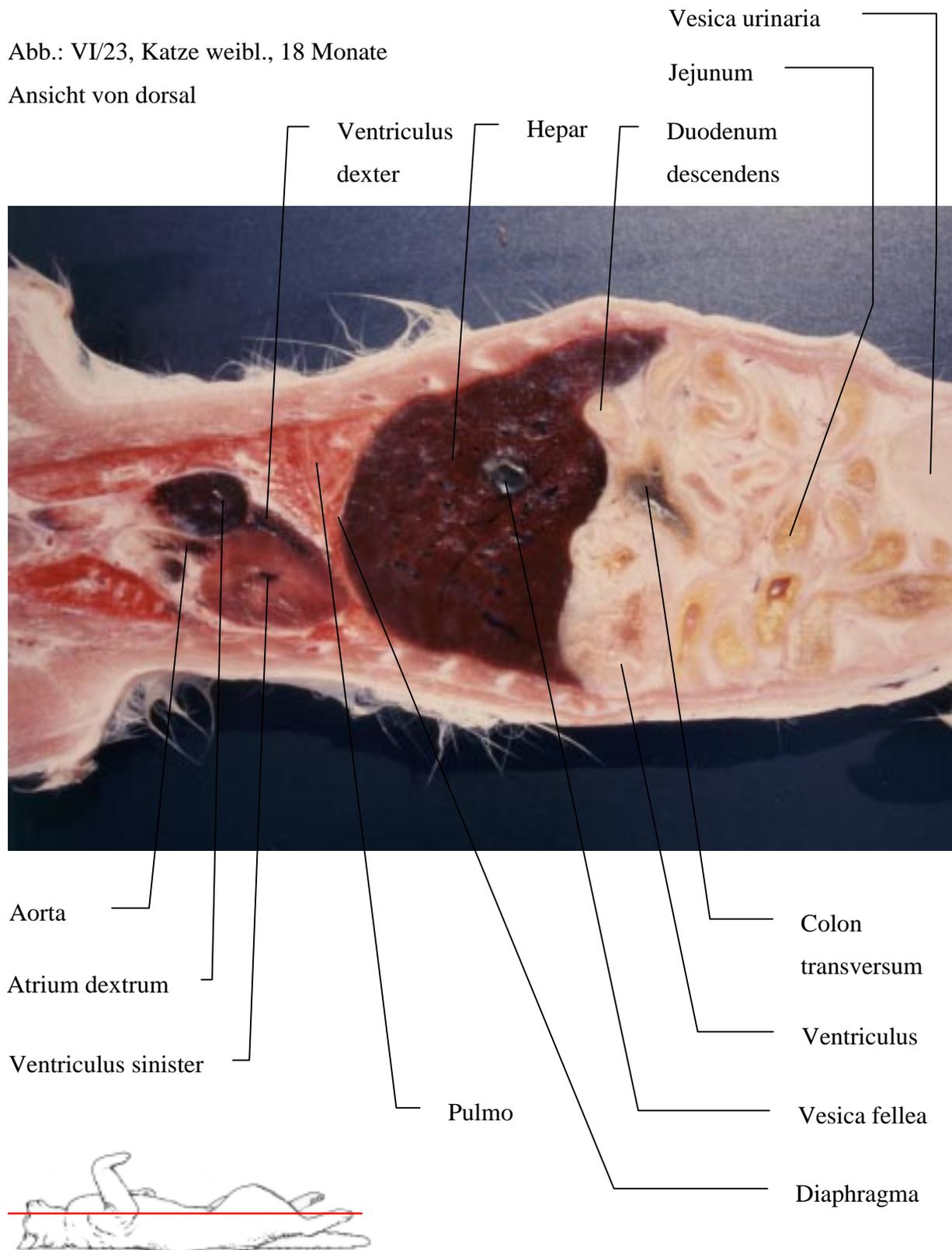
Die Abzüge der MRT-Bilder und der Gefrierschnittpräparate wurden mit einem Scanner (Microtek Scanmaker E 6) eingescannt und mit einer Bildbearbeitungssoftware (Adobe Photoshop 4.0) nachbearbeitet. Die Beschriftung und das Einfügen in den Textteil erfolgte in Word 97.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Beschreibung von MRT-Aufnahmen und Vergleich mit anatomischen Präparaten der Bauchhöhle in horizontaler Schnittebene

Abb.: VI/23, Katze weibl., 18 Monate

Ansicht von dorsal



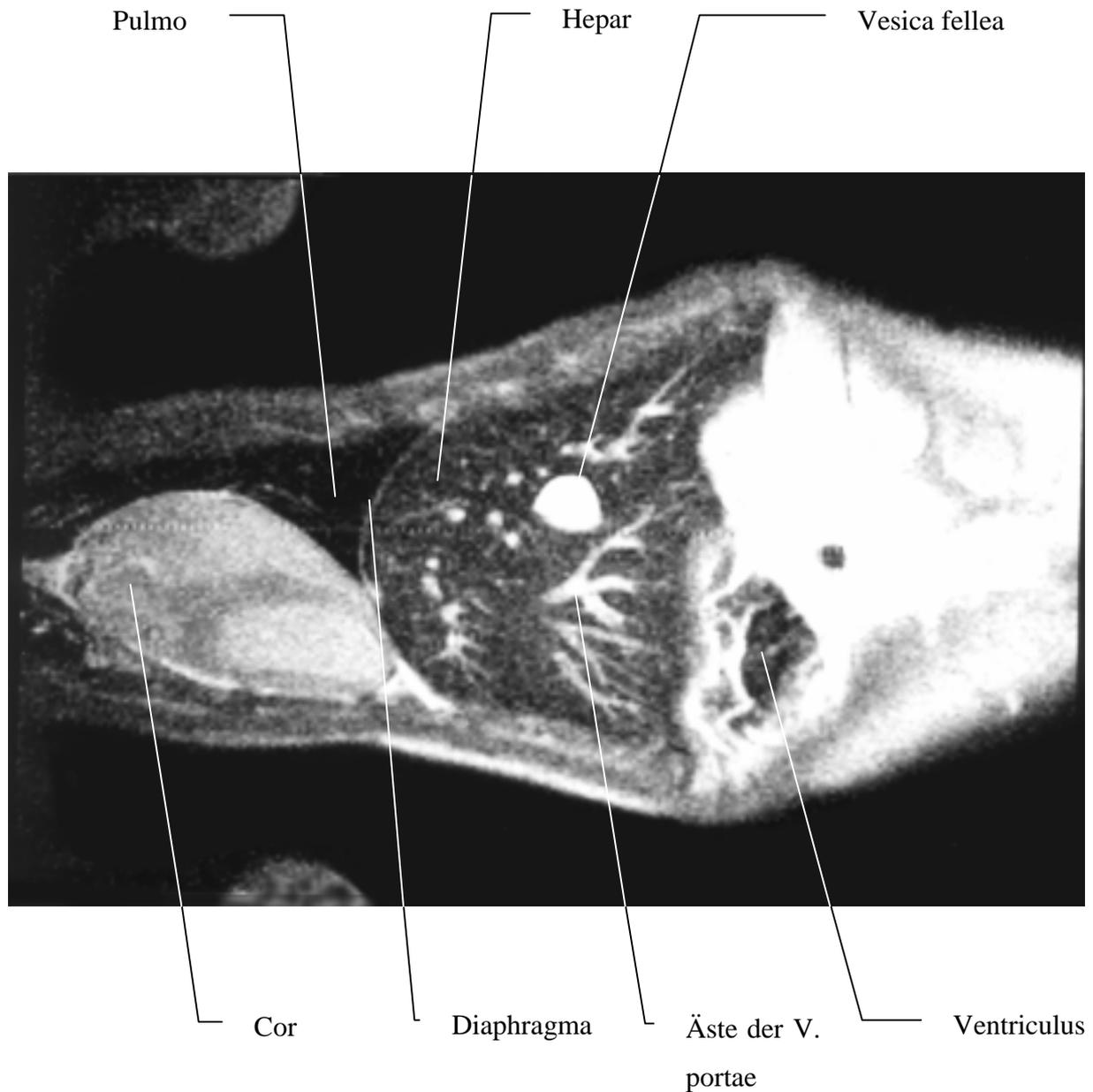
MRT-Aufnahme Nr. VI/24

Katze weibl.; 20 Monate

SE 407/14

SD 3,0 mm

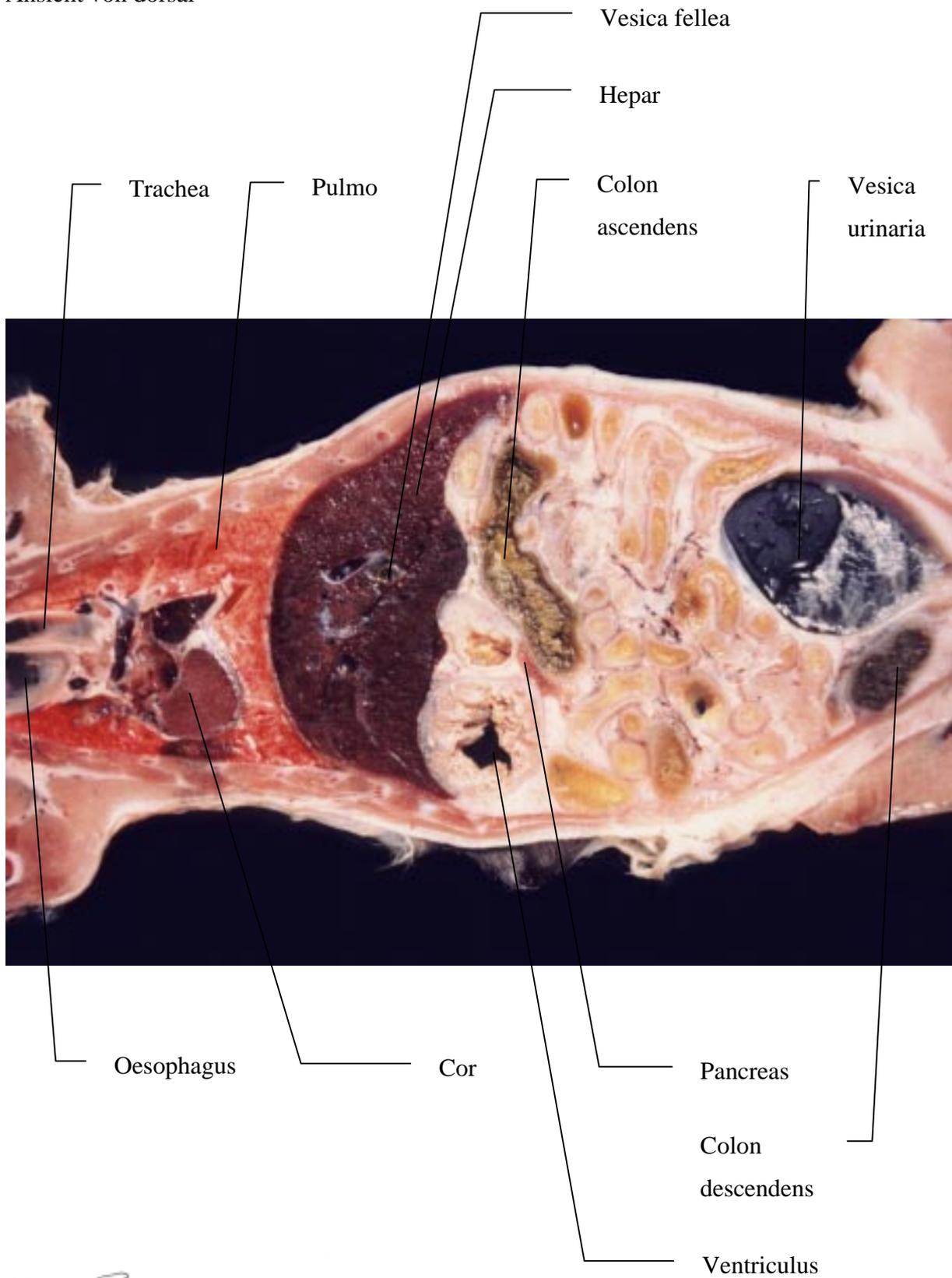
KM: Gd-DTPA



Im Mittelpunkt dieser Aufnahme steht die Leber, welche homogen strukturiert und signalintensiver als die mitangeschnittene Bauchmuskulatur ist. Extra- und intrahepatische Gefäße, welche signalärmer sind, lassen sich im Kernspintogramm gut darstellen. Die Konturen des Organs sind, eine entsprechende Bildqualität vorausgesetzt, ventral, lateral und dorsal gut abgrenzbar. Als sehr heller, kreisrunder Bereich ist die Gallenblase zu erkennen.

Abb.: VI/30, Katze weibl.; 3 Jahre

Ansicht von dorsal



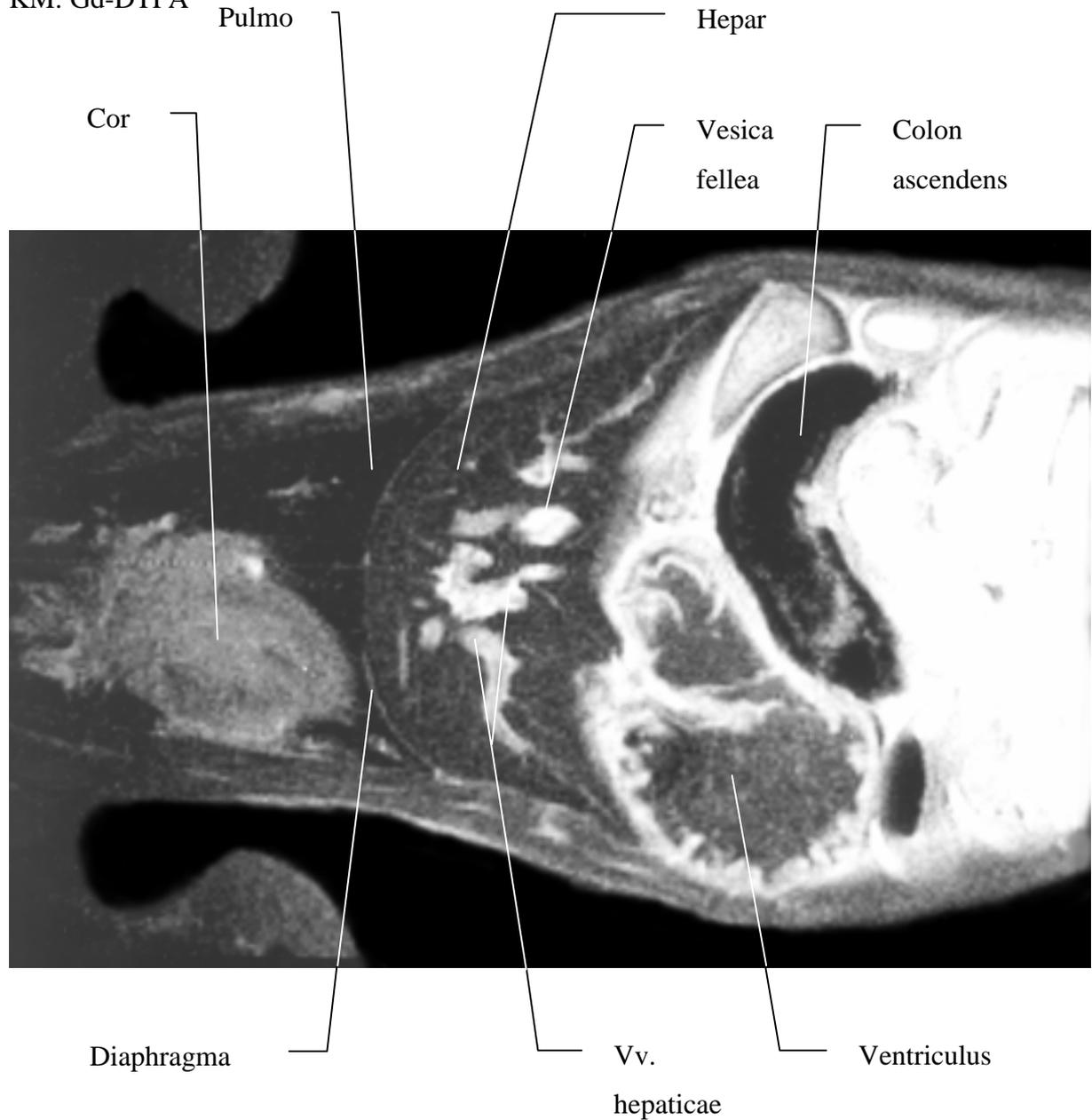
MRT-Aufnahme Nr. VI/30

Katze weibl.; 20 Monate

SE 407/14

SD 3,0 mm

KM: Gd-DTPA

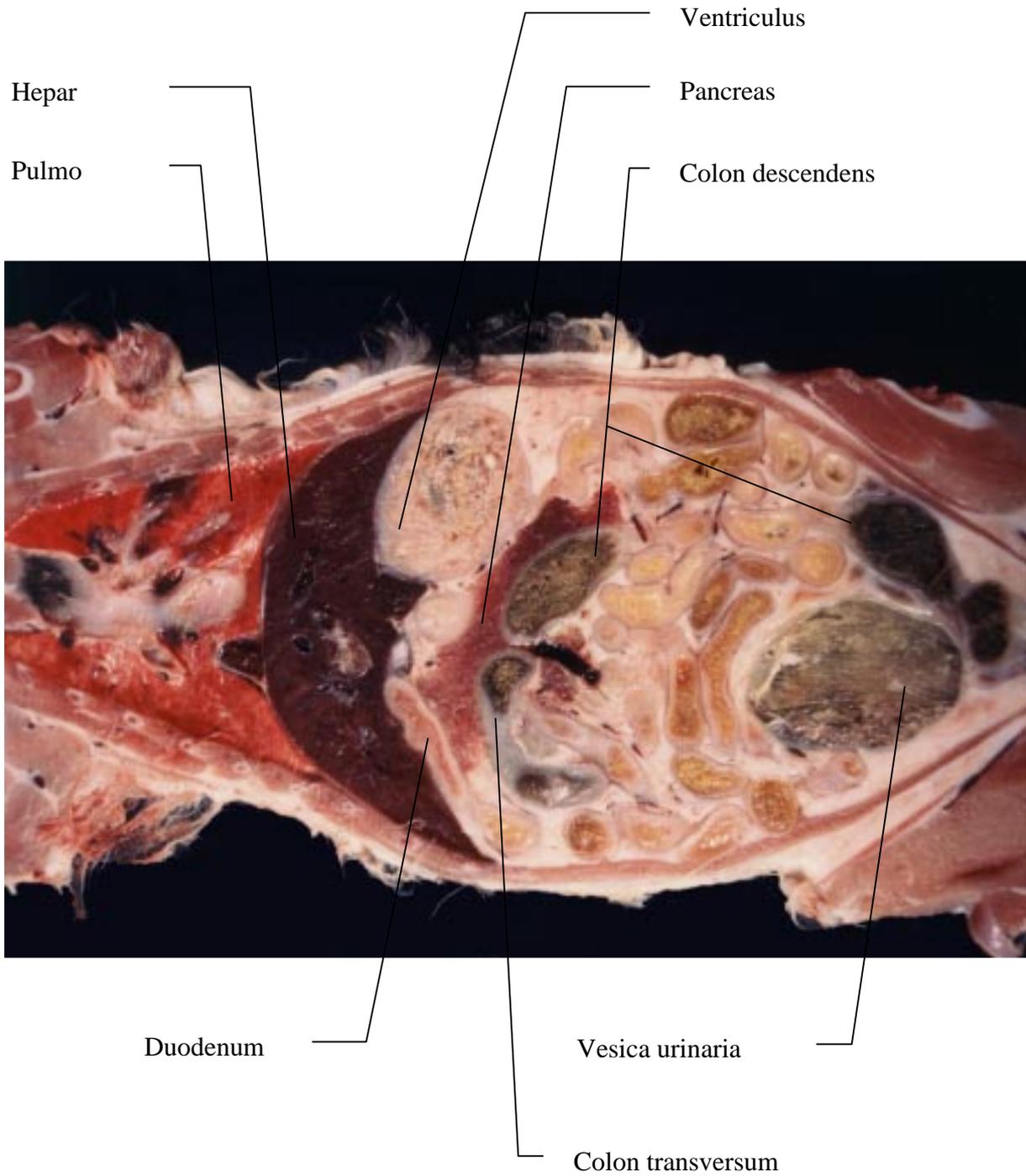


Intra- und extrahepatische Gefäße lassen sich durch die blutflußbedingte Signalarmut gut erkennen. Intra- und extrahepatische Gallengänge sind kernspintomographisch in der Regel nicht abgrenzbar. Jedoch können erweiterte Gallengänge erkannt werden.

Die Gallenblase läßt sich in Form, Größe und Lage erfassen. So läßt sich die unterschiedliche Konzentration der Galle in der Gallenblase darstellen, da konzentrierte Galle ein höheres Signal als unkonzentrierte frische Galle besitzt.

Abb.: V/1, Katze weibl.; 3 Jahre

Ansicht von ventral



MRT-Aufnahme Nr. S 18/317

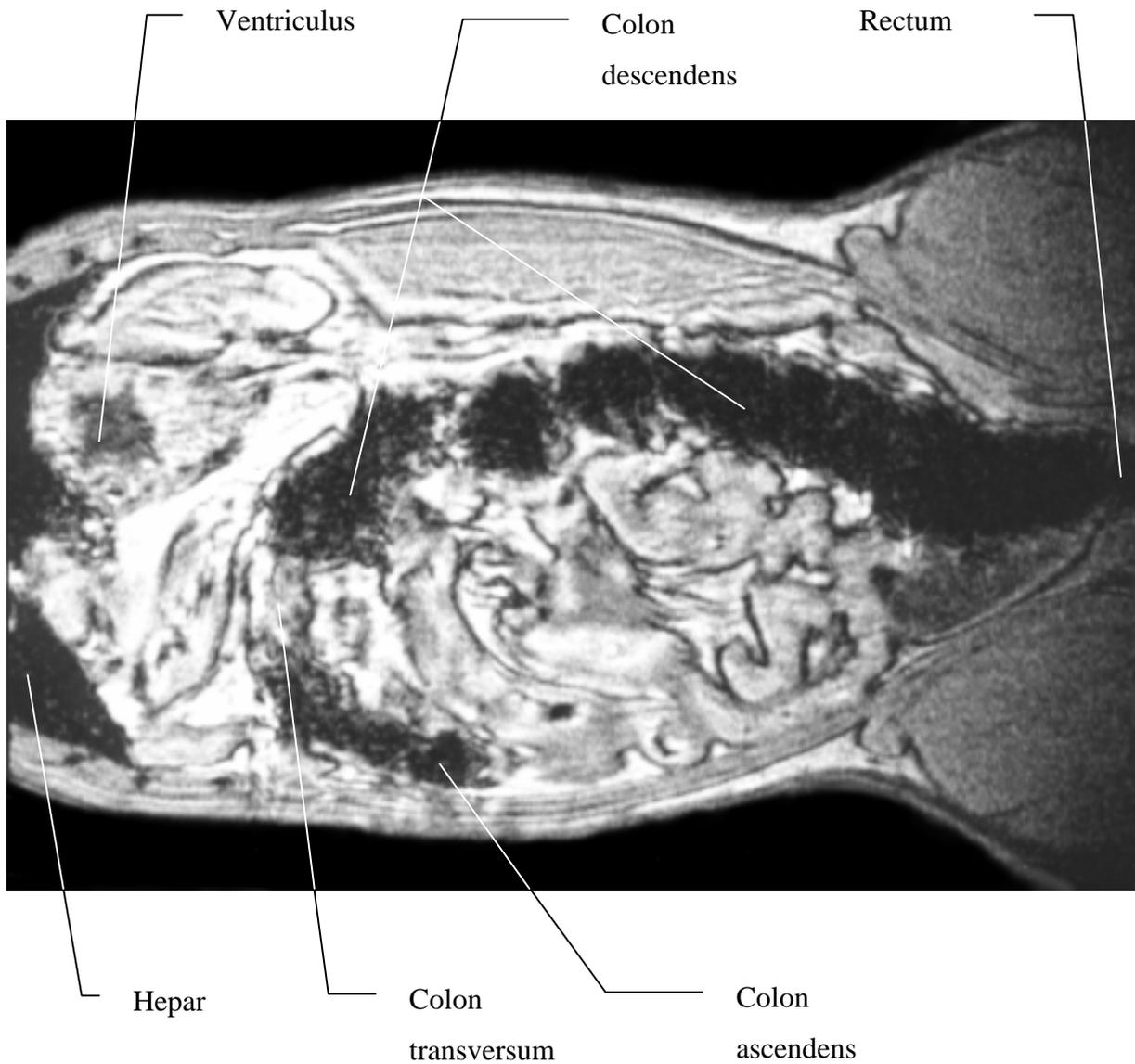
Katze weibl.; 4 Jahre

TR 50.0

TE 6.0/1

AC 1

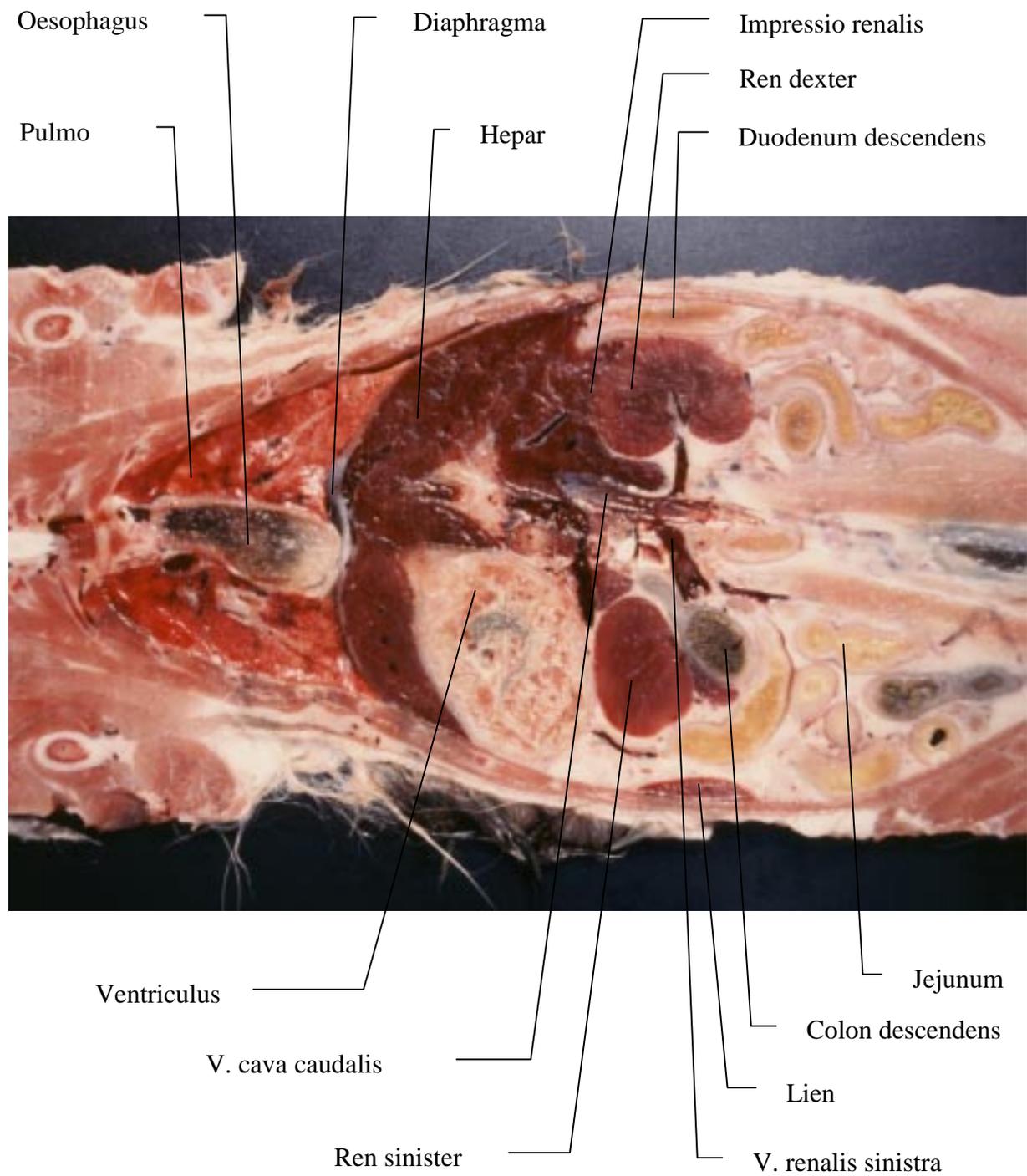
SD 3,0 mm



Auf dieser Aufnahme sind deutlich die einzelnen Abschnitte des Dickdarmes zu erkennen. Die hohe Signalintensität entsteht durch den Darminhalt (Futter, Kot). In der Humanmedizin liegen zu Untersuchungen des Gastrointestinaltraktes mittels KST bis jetzt nur wenige Erfahrungen vor .

Abb.: V/9, Katze weibl.; 3 Jahre

Ansicht von dorsal

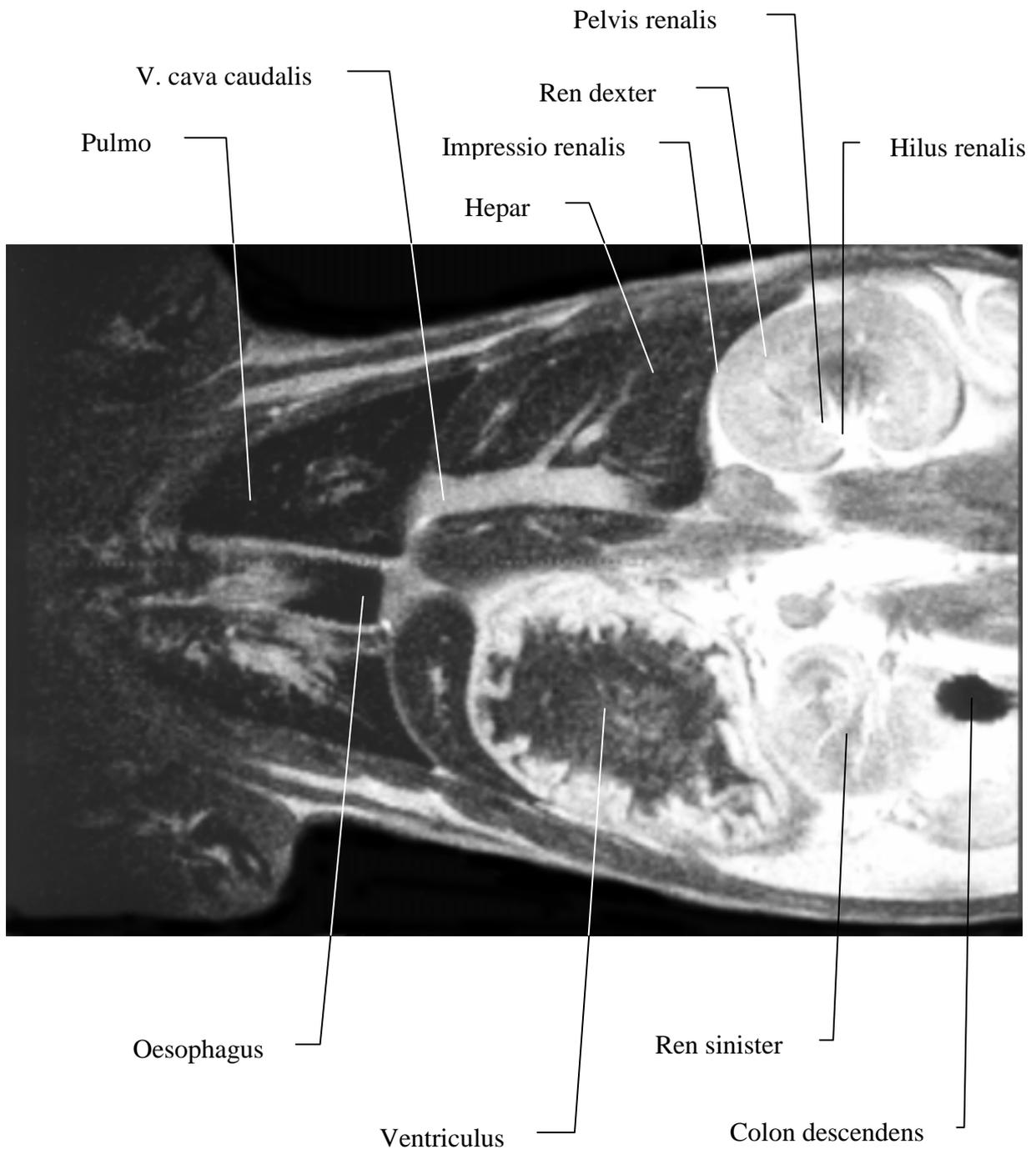


MRT-Aufnahme Nr. V/9

Katze weibl.; 20 Monate

SE 407/14

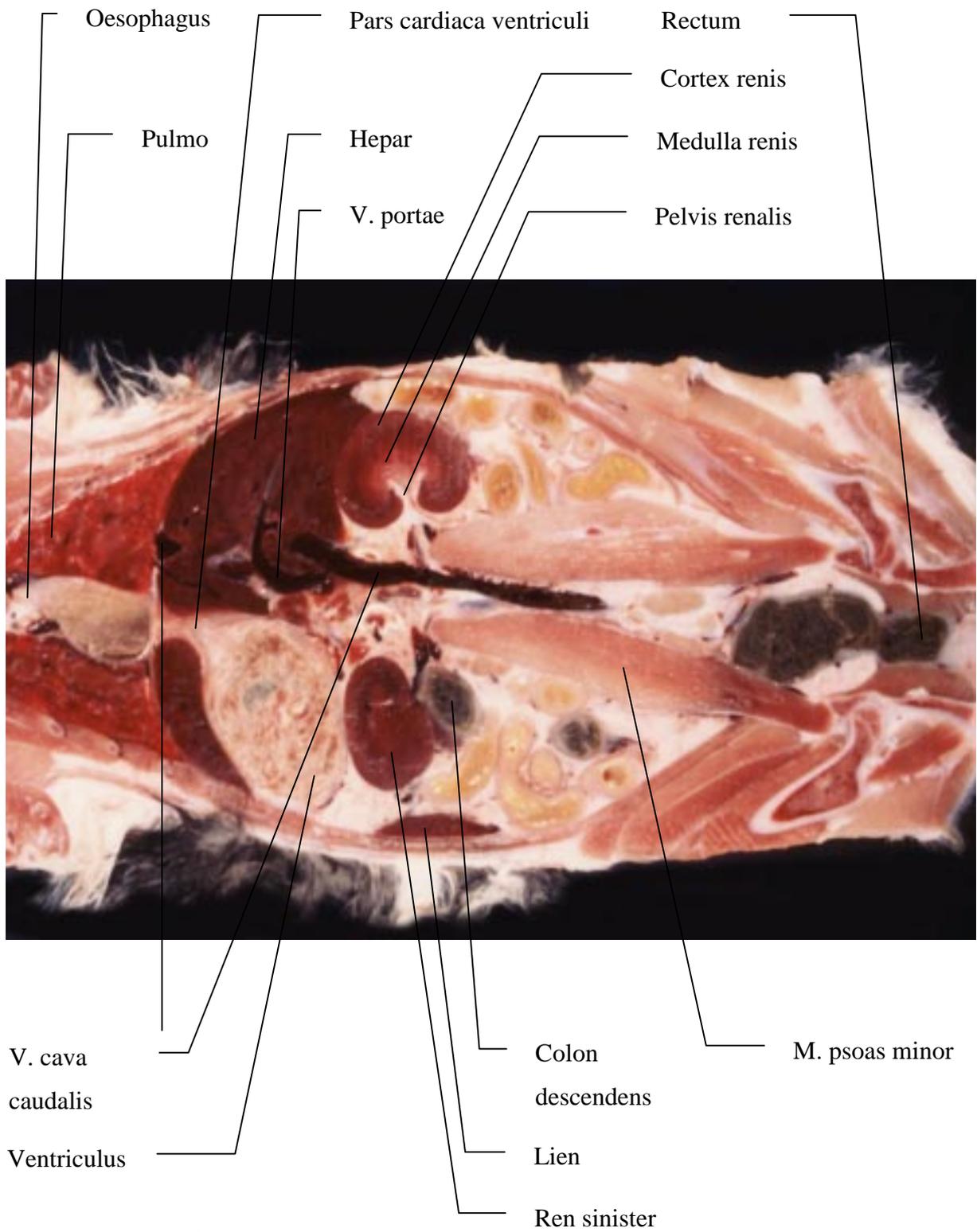
SD 3,0 mm



Bei dieser Aufnahme stellt sich die signalintensive Lunge besonders deutlich dar. Signalärmer ist die Leber. Aufgrund des hohen Kontrastes zwischen Nierenrinde und perirenalem Fettgewebe sind die Nieren gut von der Umgebung abzugrenzen. Die Nierenrinde zeigt eine mittlere, das Nierenmark eine niedrigere Signalintensität.

Abb.: V/14, Katze weibl.; 3 Jahre

Ansicht von dorsal



MRT-Aufnahme Nr. S 12/131

Katze weibl.; 4 Jahre

TR 370.0

TE 12.0/1

AC 4

SD 3,0 mm

MRT-Aufnahme Nr. S 18/306

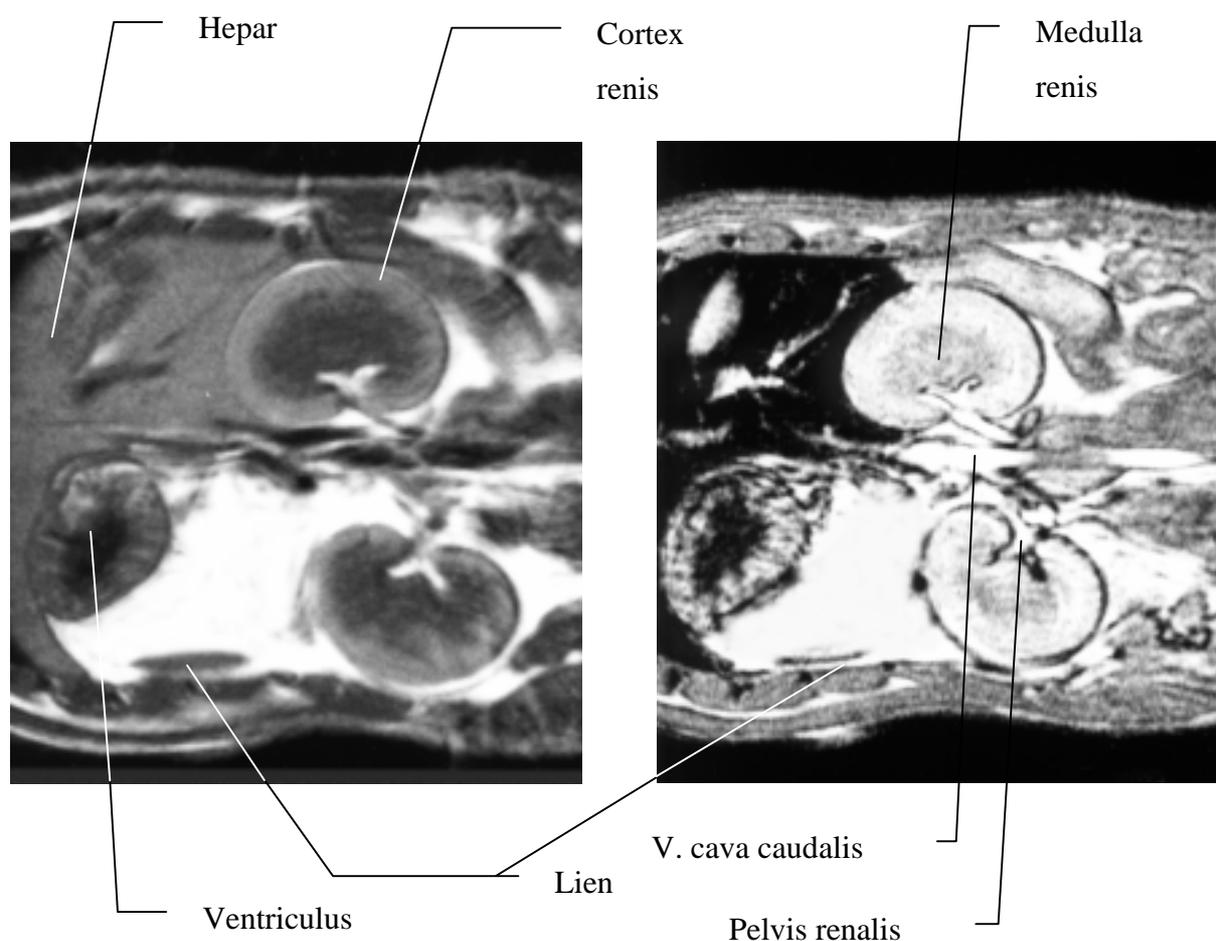
Katze weibl.; 4 Jahre

TR 50.0

TE 6.0/1

AC 1

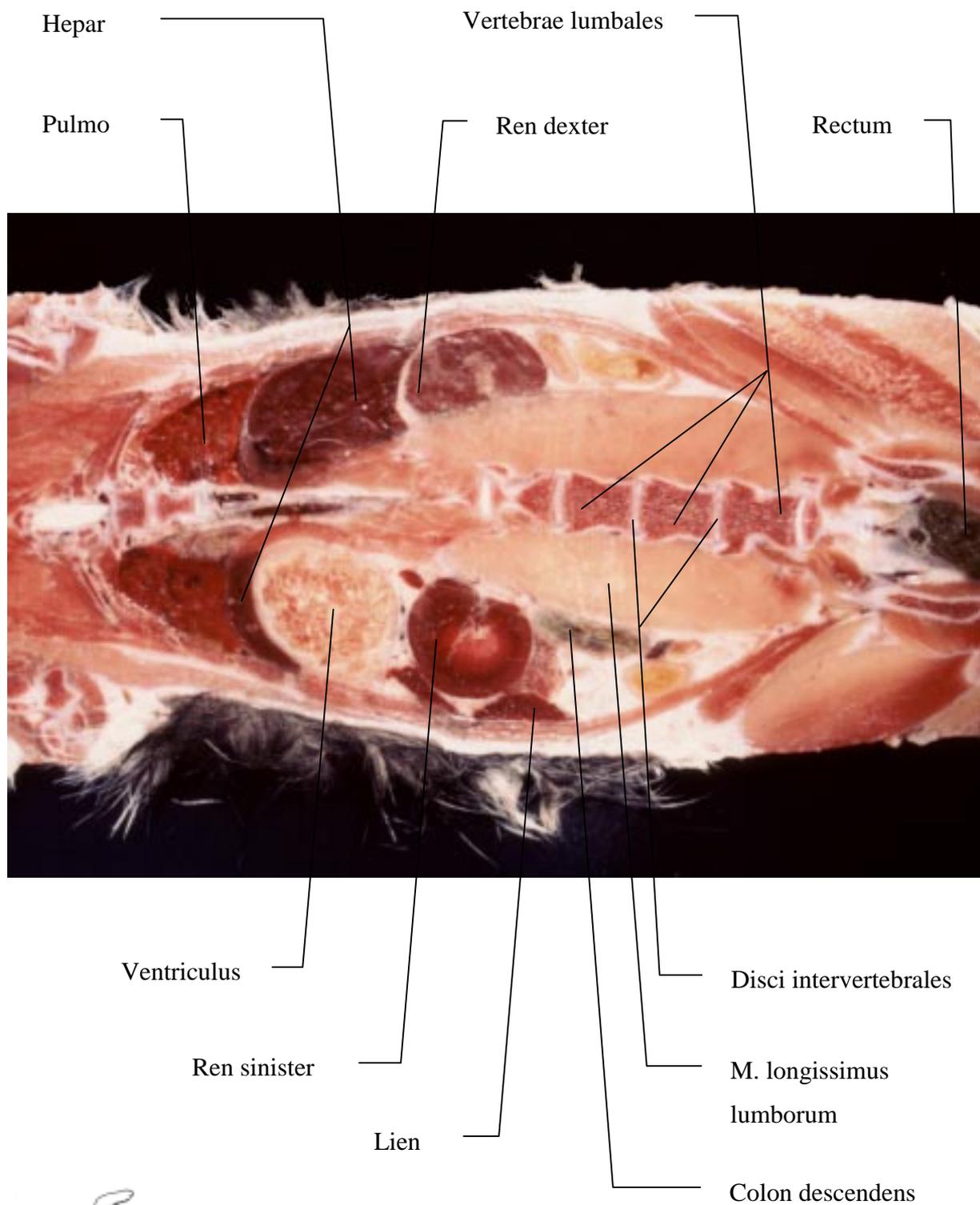
SD 3,0 mm



Im Nierenparenchym lassen sich Nierenrinde und Nierenmark mit T1-gewichteten Sequenzen differenzieren. Das Nierenmark hat durch den höheren Flüssigkeitsgehalt eine niedrigere Signalintensität als die Nierenrinde. Die Ureteren sind bei Harnstauung, aber manchmal auch bei freiem Abfluß, insbesondere auf T2-betonten Aufnahmen, als signalreiche Strukturen zu erkennen.

Abb.: V/20, Katze weibl.; 3 Jahre

Ansicht von dorsal



MRT-Aufnahme Nr. S 12/130

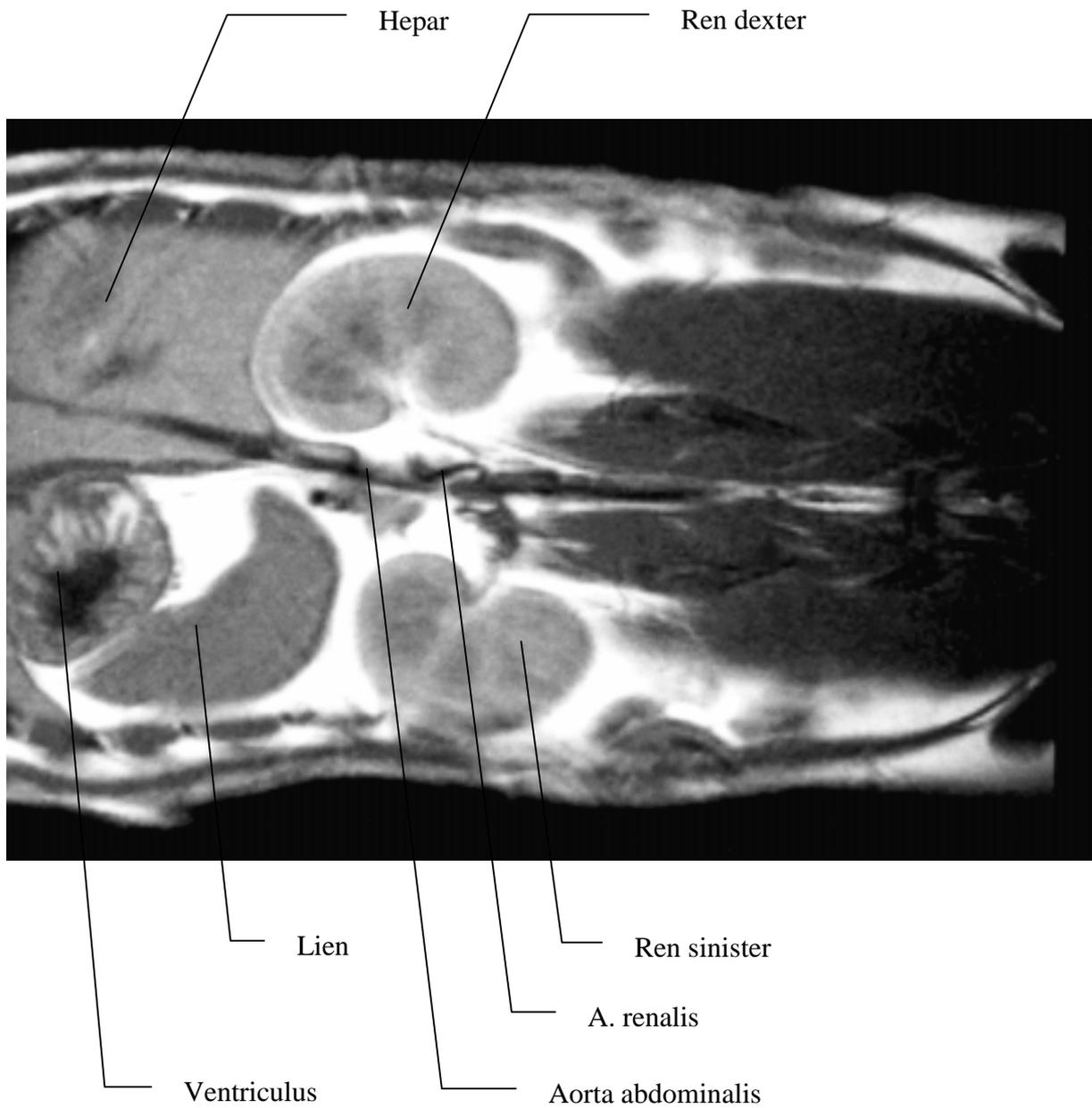
Katze weibl.; 8 Jahre

TR 370.0

TE 12.0/1

AC 4

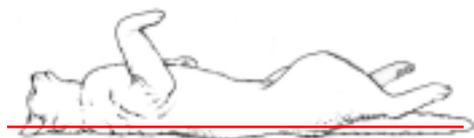
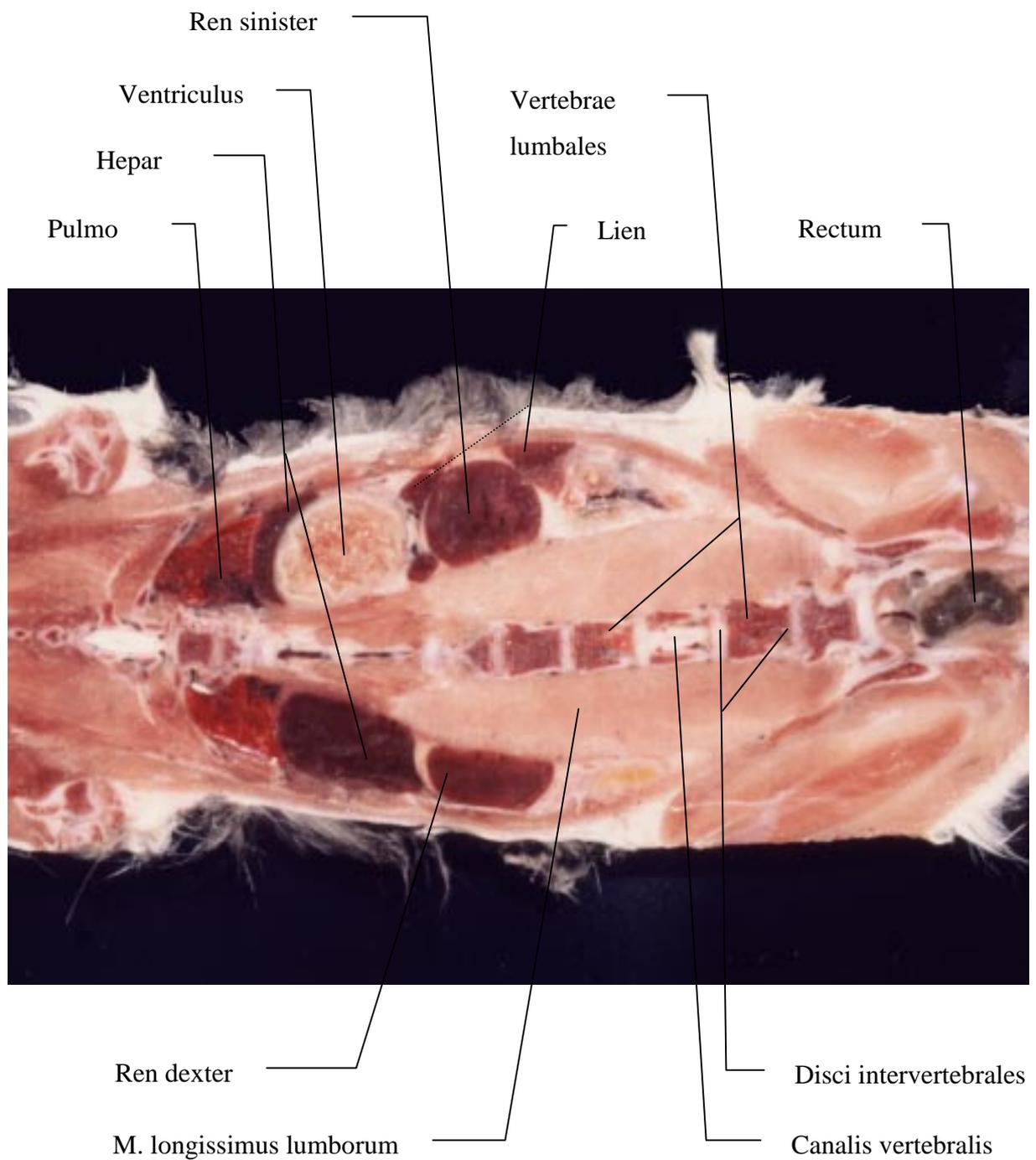
SD 3,0 mm



Die Milz ist auf dieser Aufnahme gut in Form und Größe darstellbar und besitzt eine homogene Signalintensität. Im Vergleich zur Leber zeigt die Milz bei T2-betonter Pulssequenz ein höheres Signal und wird bei T1-betonter Pulssequenz isointens bis hypointens.

Abb.: V/32, Katze weibl.; 3 Jahre

Ansicht von ventral

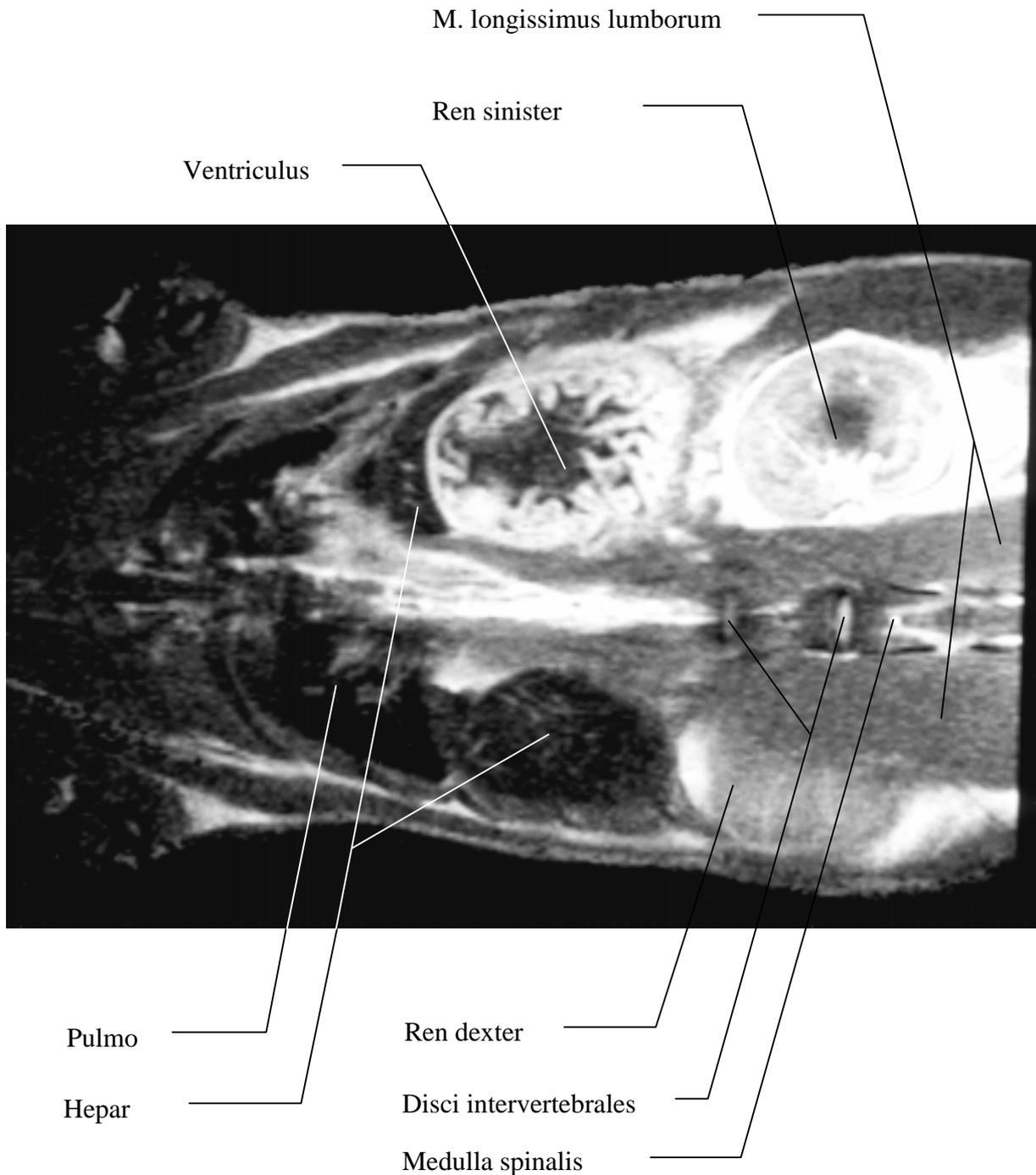


MRT-Aufnahme Nr. V/31

Katze weibl.; 20 Monate

SE 407/14

SD 3,0 mm



Auf dieser Aufnahme ist das Signal der Wirbelkörperspongiosa intensiver als das der Muskulatur. Die hohe SI des Wirbelkörpermarks im T1w-Bild ist Folge des Fettgehalts, der mit dem Alter zunimmt. Auch der Nucleus pulposus und die inneren Anteile des Anulus fibrosus sind bei T1w-Aufnahmen im Normalfall signalintensiv.

MRT-Aufnahme Nr. S 18/305

Katze weibl.; 4 Jahre, Ansicht von ventral

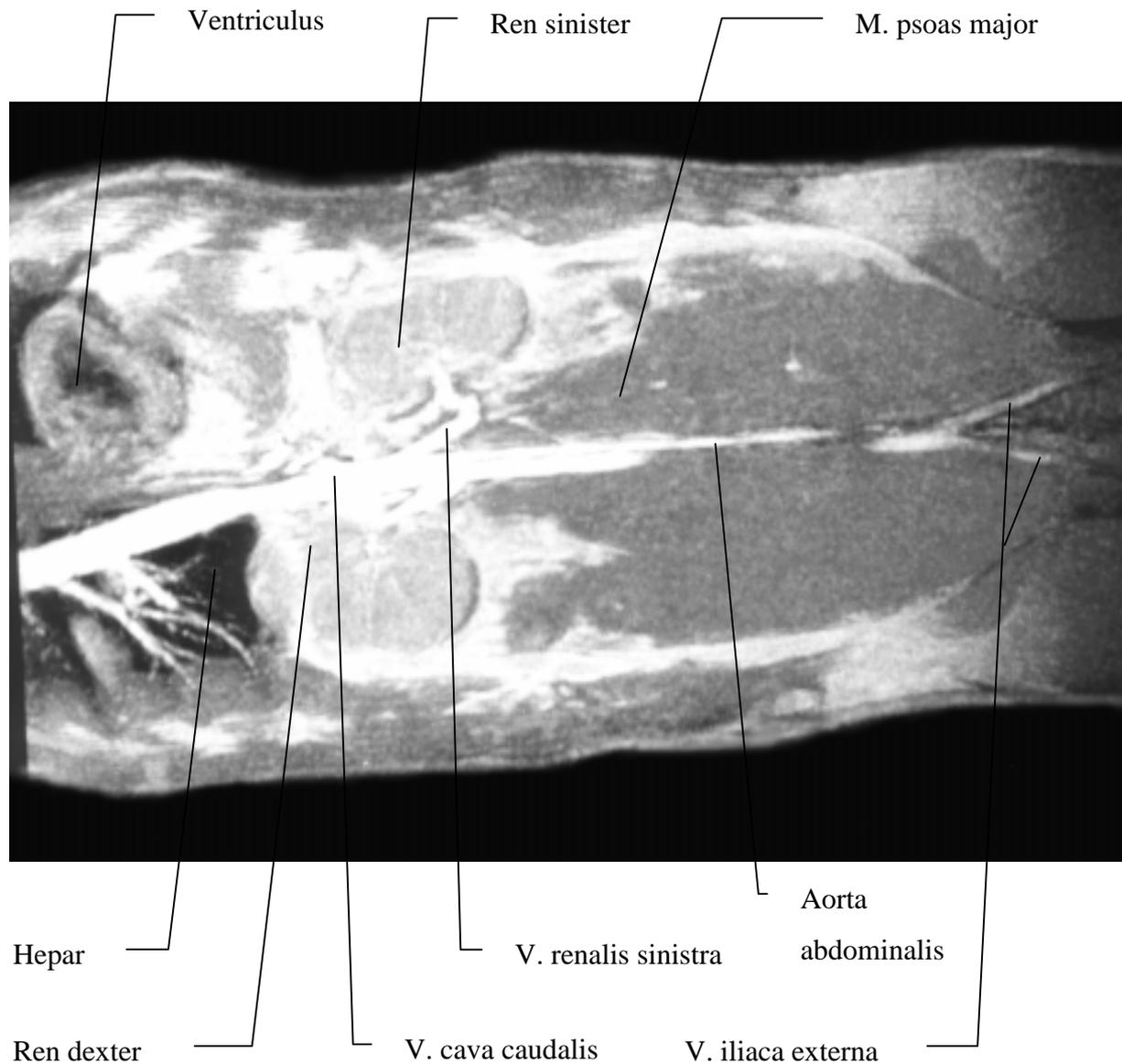
TR 50.0

TE 6.0/1

AC 1

SD 1,1 mm

KM: Gd-DTPA



Für die Untersuchung des Gefäßsystems eignen sich sowohl die konventionellen SE- und IR-Techniken als auch die Gradienten-Echo-Techniken. Für eine bewegungsartefaktfreie Darstellung der Aorta und der V. cava ist eine EKG-Tiggerung empfehlenswert. Das eingesetzte Kontrastmittel verbessert die Darstellung der Gefäße durch eine Verstärkung der Signalintensität.

MRT-Aufnahme Nr. S 17/0C

Katze weibl.; 4 Jahre, Ansicht von ventral

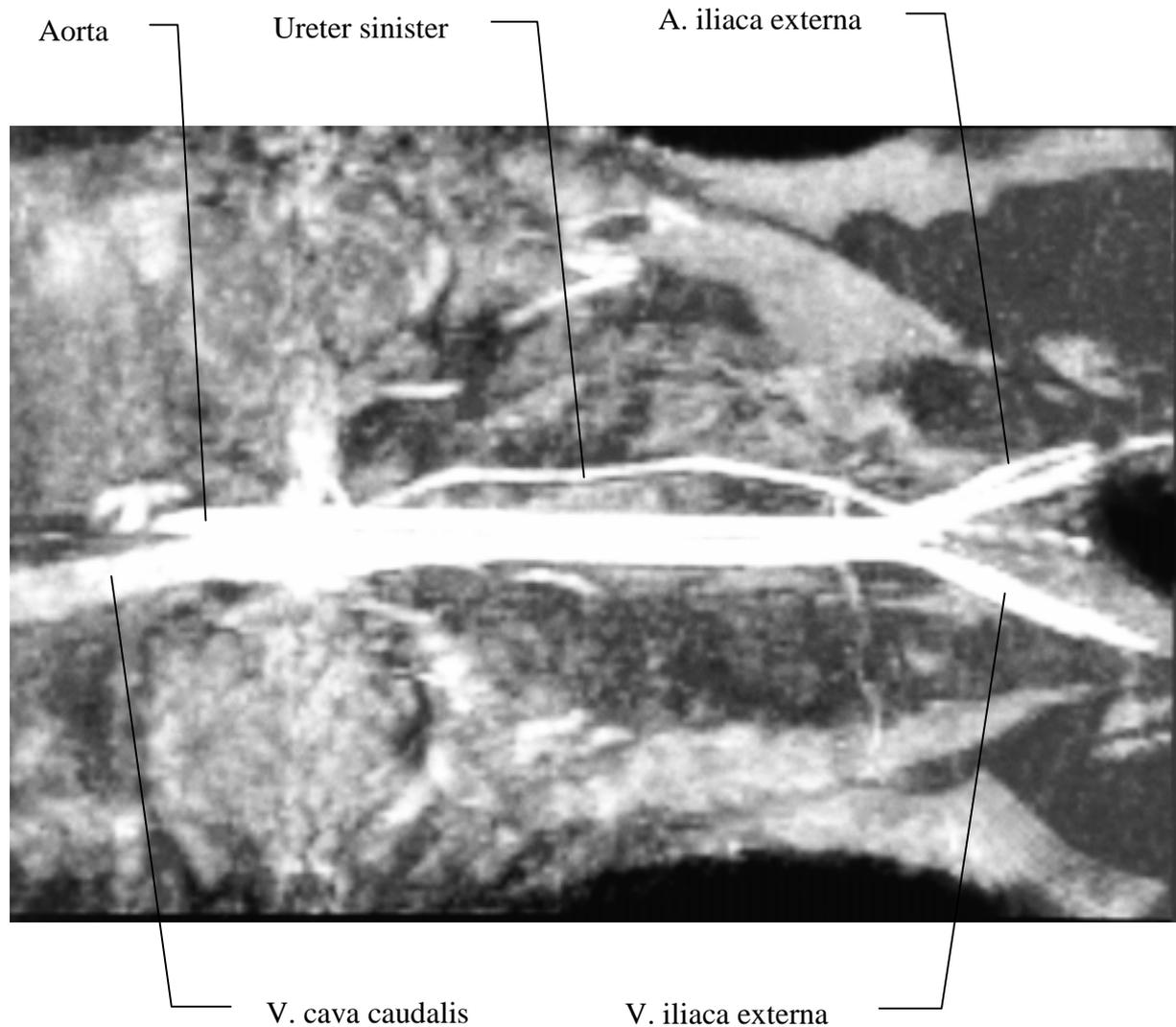
TR 50.0

TE 6.0/1

AC 1

SD 0,8 mm

KM: Gd-DTPA

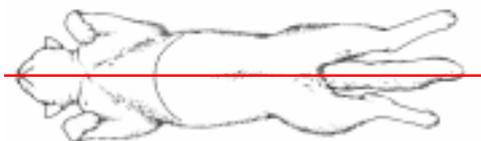
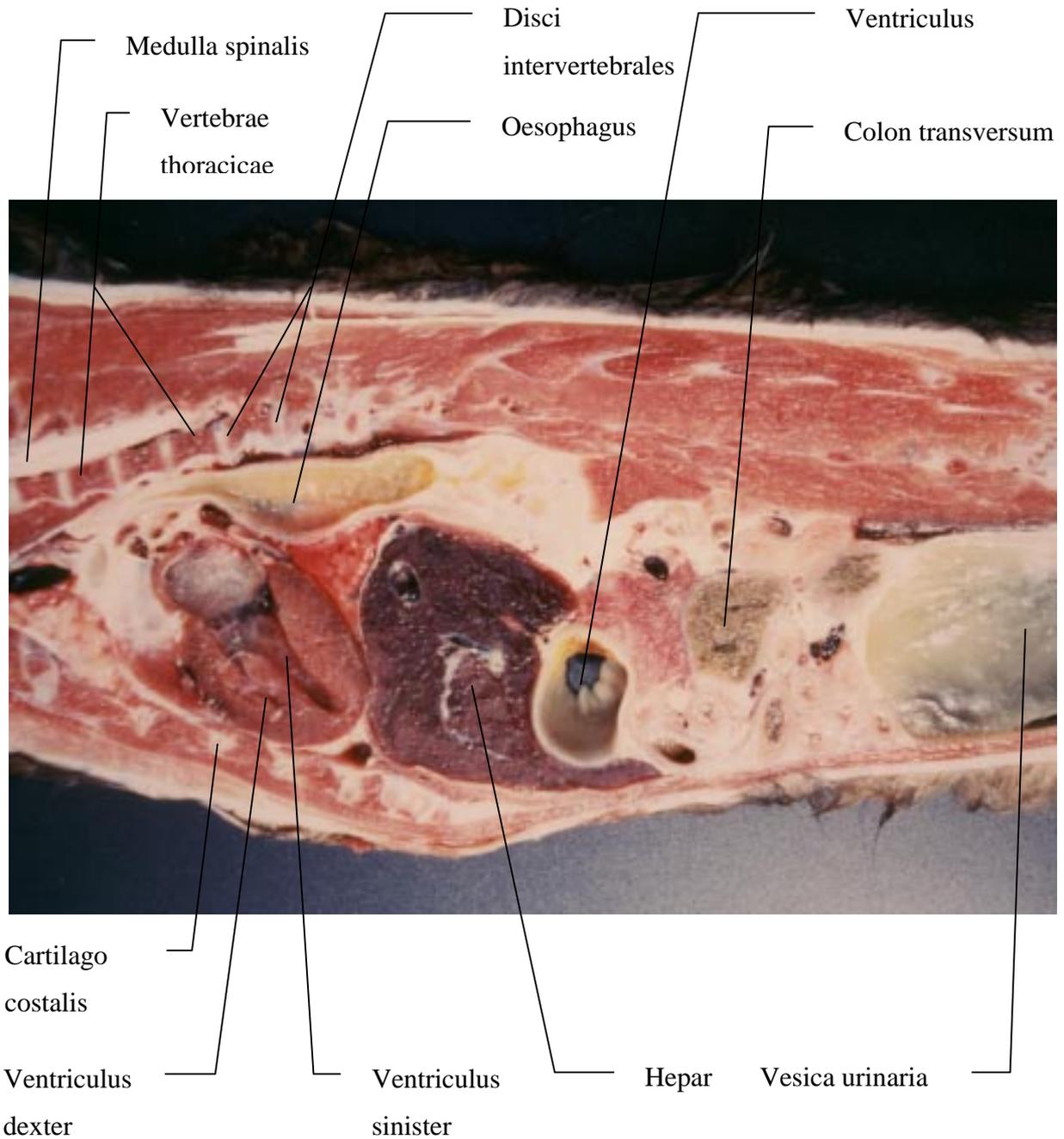


Bei der hier abgebildeten Aufnahme wurden per Computer drei einzelne Schichtaufnahmen zu einem Bild verarbeitet, um so den Verlauf der großen Blutgefäße darstellen zu können. Während die Gefäßwände im allgemeinen nur mit geringem Kontrast zu den umgebenden soliden Geweben abgrenzbar sind, ist vor allem im Thoraxbereich die Abgrenzung der Gefäßwände vom durchströmten Lumen als auch vom perivaskulärem Gewebe möglich. Das Kontrastmittel verursacht örtlich variierende T1- und suszeptibilitätsinduzierte T2-Verkürzungen, die eine Verstärkung oder einen SI-Verlust hervorrufen können.

3.2.2 Beschreibung von MRT-Aufnahmen und Vergleich mit anatomischen Präparaten der Bauchhöhle in sagittaler Schnittebene

Abb.: VII/30, Katze männl.; 8 Jahre

Ansicht von links



MRT-Aufnahme Nr. S 8/102

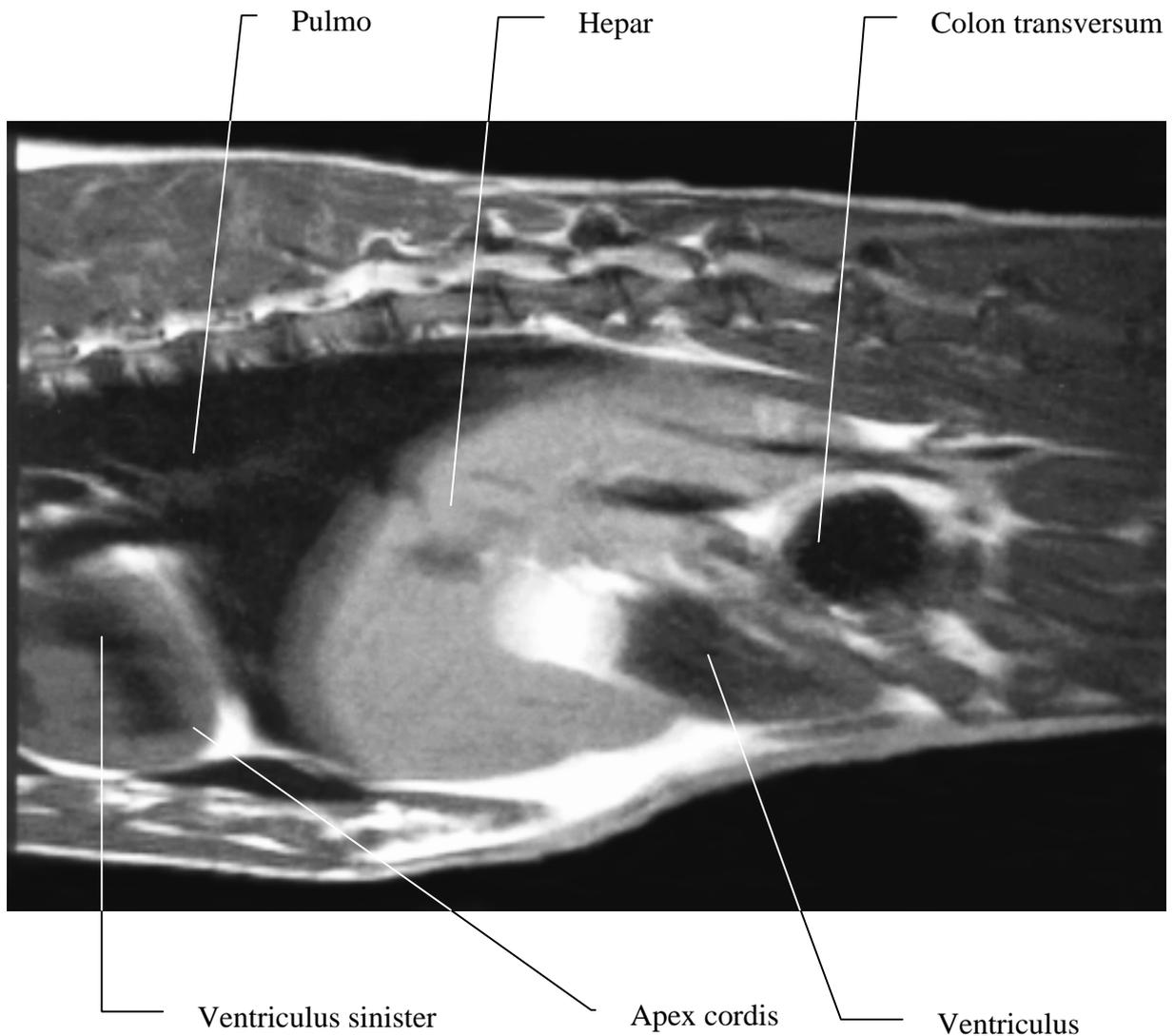
Katze männl.; 7 Jahre

TR 370.0

TE 12.0/1

AC 4

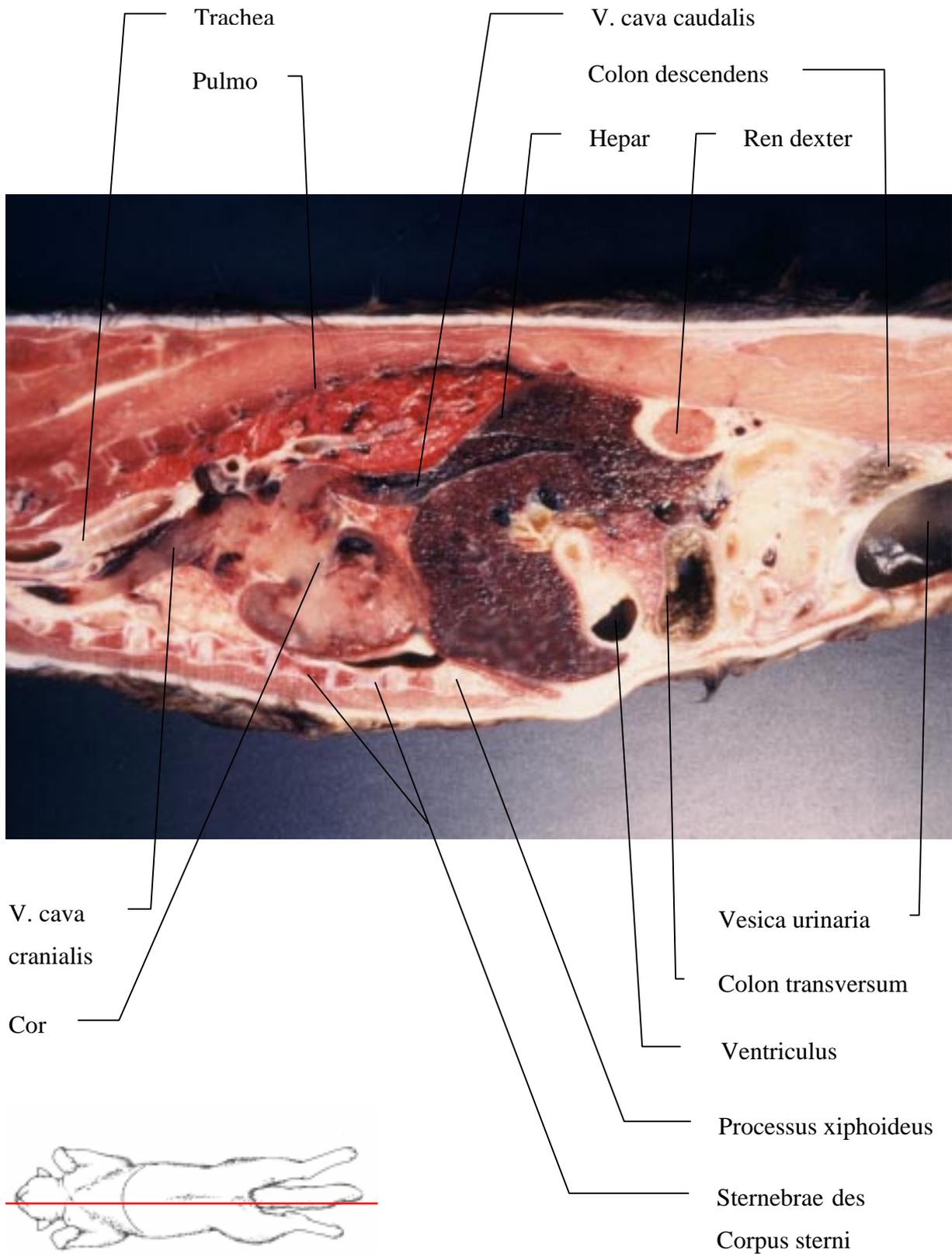
SD 3,0 mm



Der Herzmuskel stellt sich in homogener, mittlerer Signaldichte dar und ist gut vom intraventrikulären, signalarmen Lumen abgrenzbar. Sehr langsam fließendes Blut, z.B. in den Vorhöfen oder am Ende einer Kontraktionsphase kann bei kurz gewählten Echozeiten als unscharf begrenzter Bezirk schwacher bis mittlerer Signaldichte erscheinen. Der Myokarddurchmesser kann durch entsprechende zeitliche Definition der Aufnahmen endsystolisch und enddiastolisch gemessen werden.

Abb.: VII/28, Katze männl.; 8 Jahre

Ansicht von links



MRT-Aufnahme Nr. S 3/27

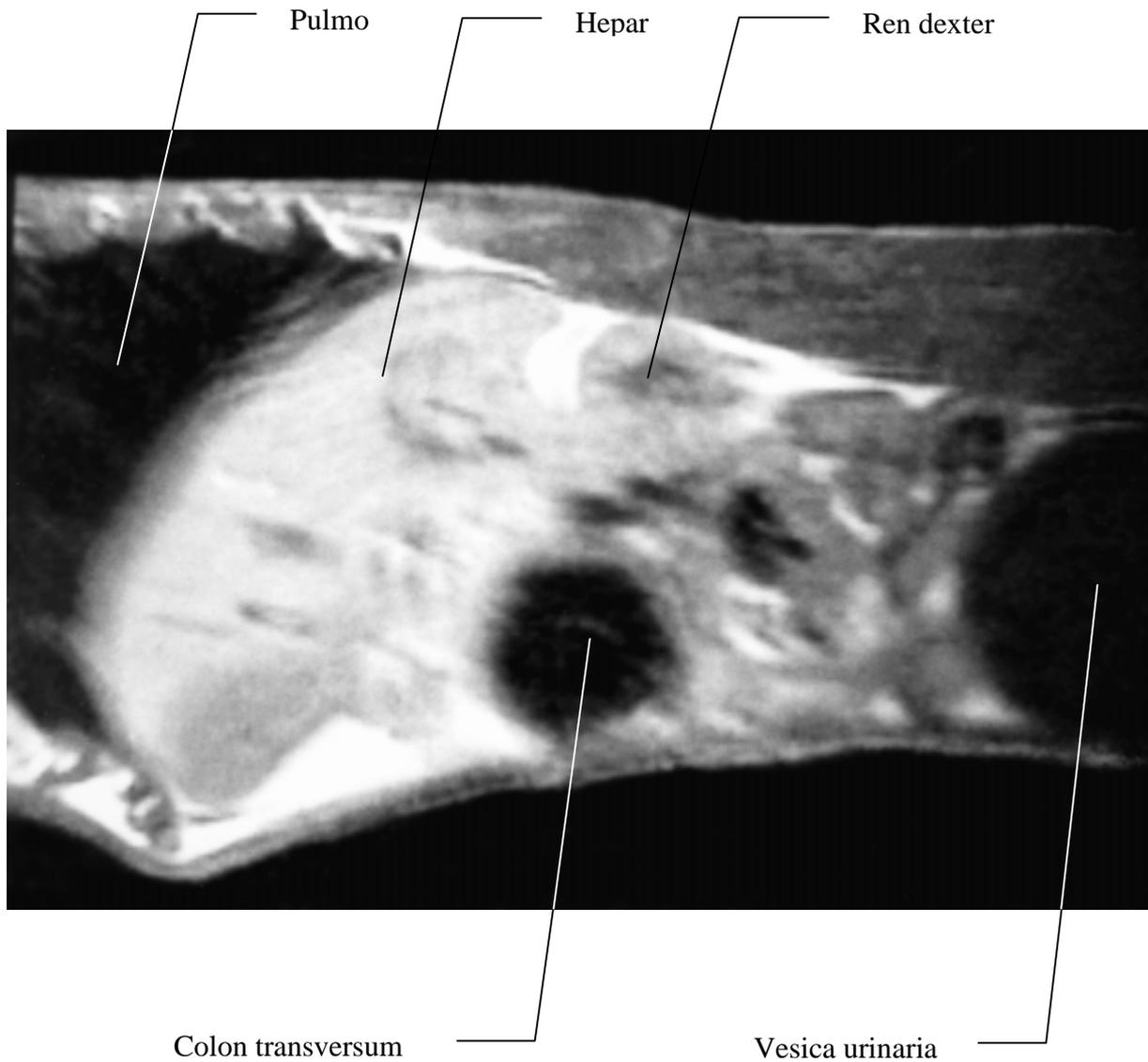
Katze weibl.; 5 Jahre

TR 560.0

TE 13.0/1

AC 4

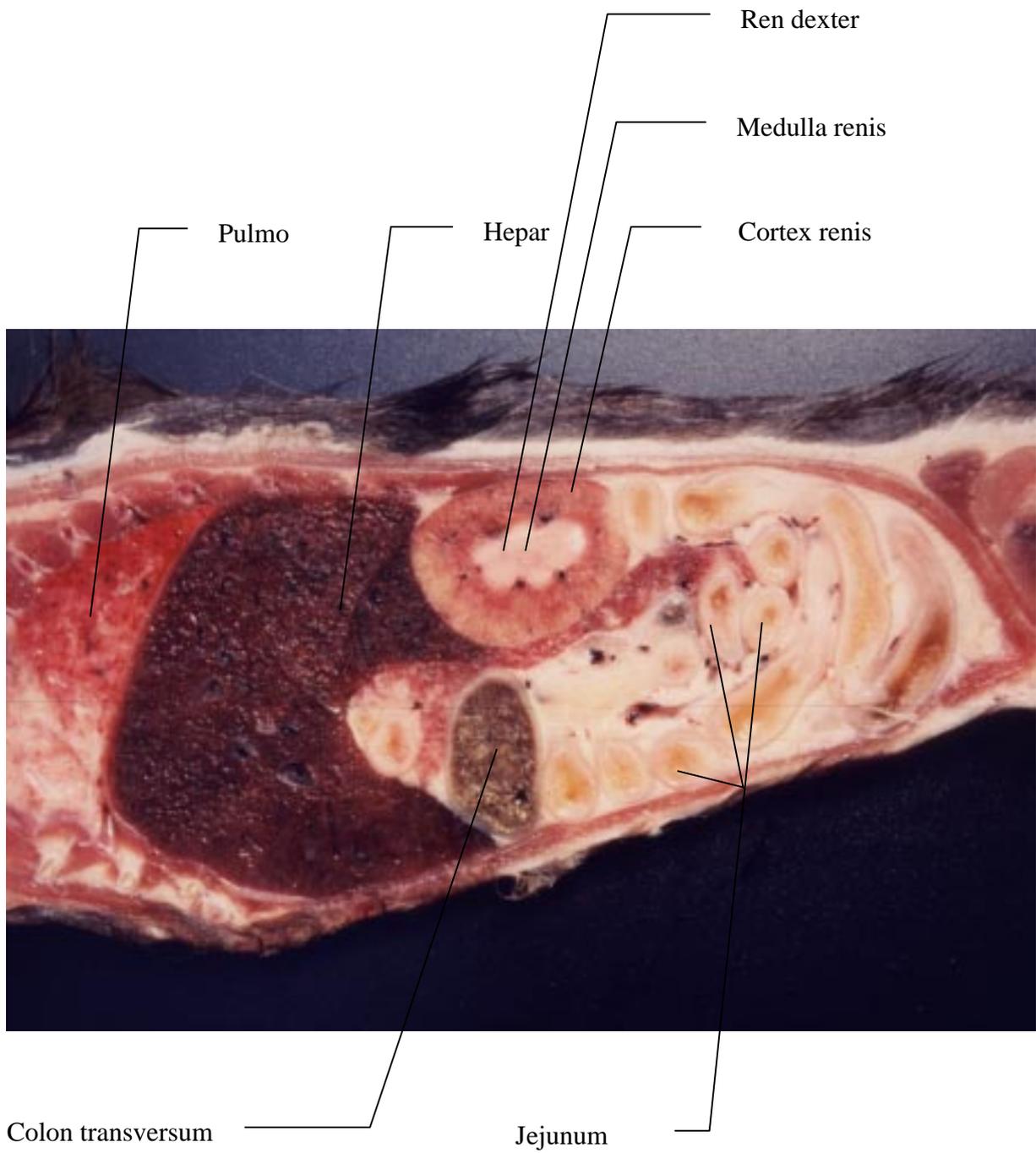
SD 3,0 mm



Die stark gefüllte Harnblase ist hier deutlich zu erkennen. Die beste Abbildung der normalen, nicht verdickten Blasenwand ist vor allem mit einer T2-gewichteten Sequenz zu erzielen. Die Blasenwand stellt sich dann meist als signalarme Struktur zwischen dem signalreichen Blasenlumen und Fettgewebe dar. Im T1-betonten Bild ist die Signalintensität des Blasenlumens deutlich niedriger als im T2-betonten Bild.

Abb.: VII/11, Katze männl.; 8 Jahre

Ansicht von links



MRT-Aufnahme Nr. S 3/25

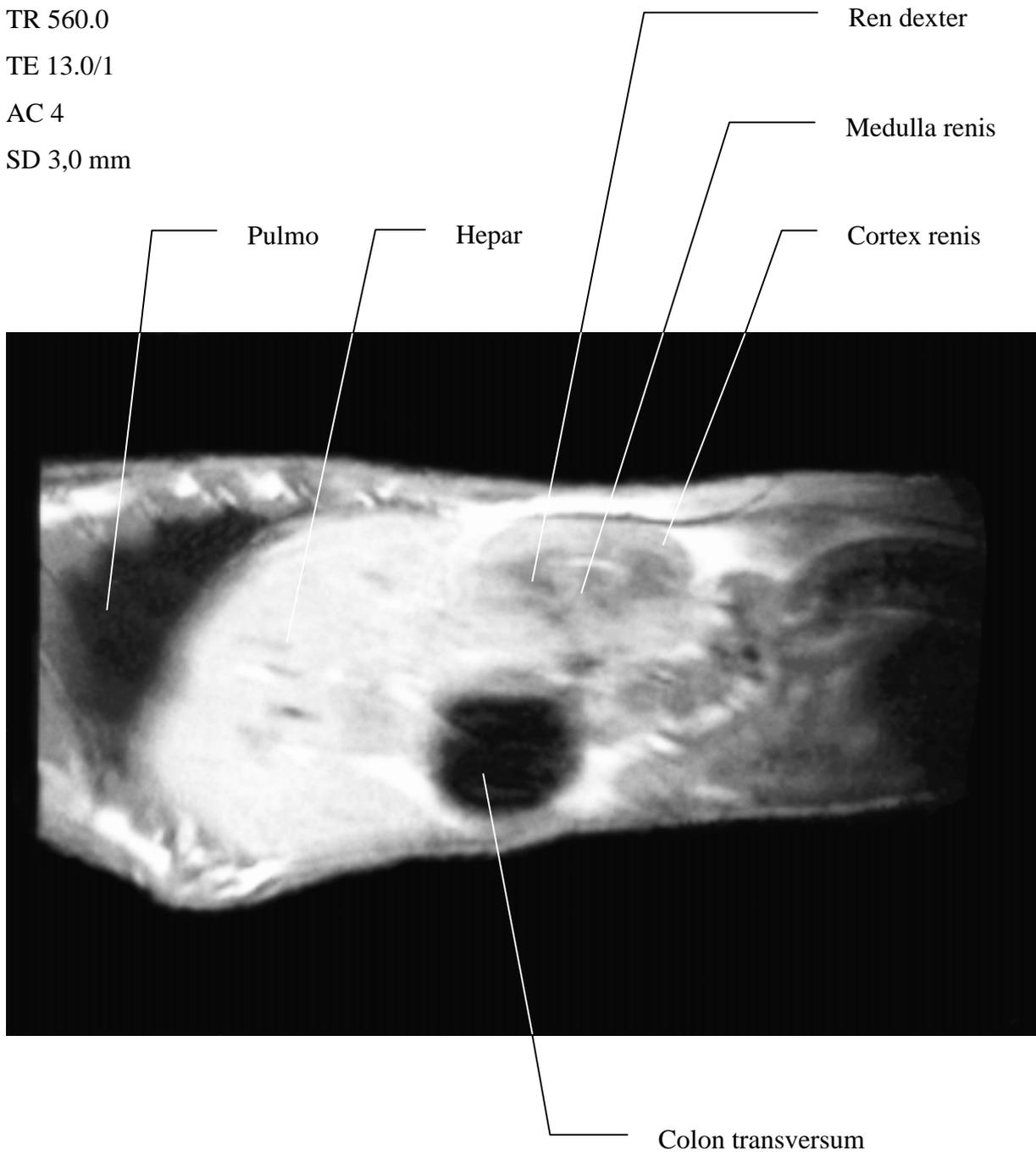
Katze weibl.; 5 Jahre

TR 560.0

TE 13.0/1

AC 4

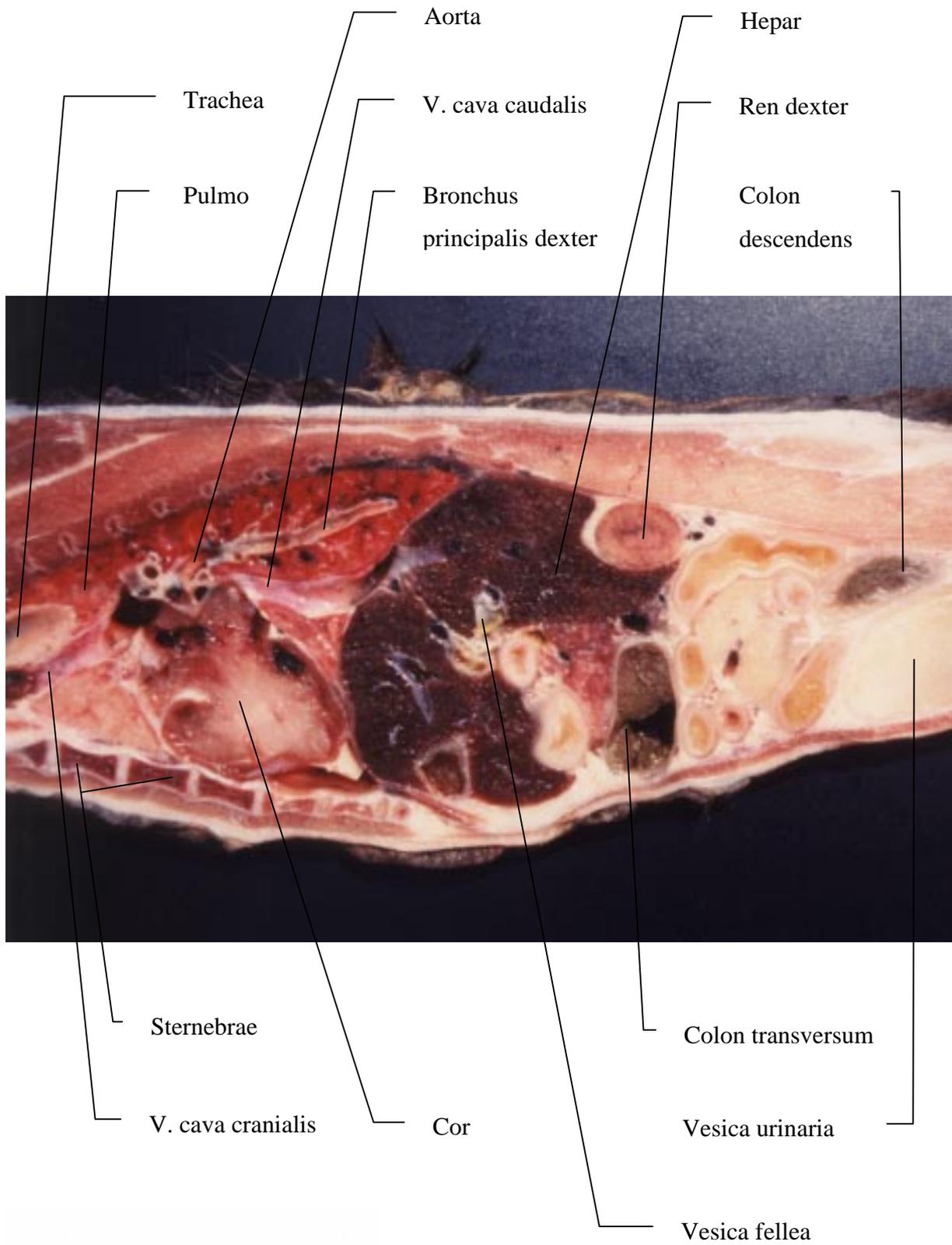
SD 3,0 mm



Die schlechte Abgrenzbarkeit der Organe im Thoraxbereich wird durch Bewegungsartefakte hervorgerufen. Als Ursache solcher Artefakte sind die Atmung, aber auch die Schlagpulsationen des Herzen und der großen Gefäße zu nennen. Zur Verminderung der Bewegungsartefakte kann man heute Aufnahmen mit EKG-Triggerung oder Atemgating anfertigen. Auch bringt die Entwicklung schnellerer Bildgebungssequenzen eine Verbesserung der Bildqualität mit sich.

Abb.: VII/19, Katze männl.; 8 Jahre

Ansicht von links



MRT-Aufnahme Nr. S 8/104

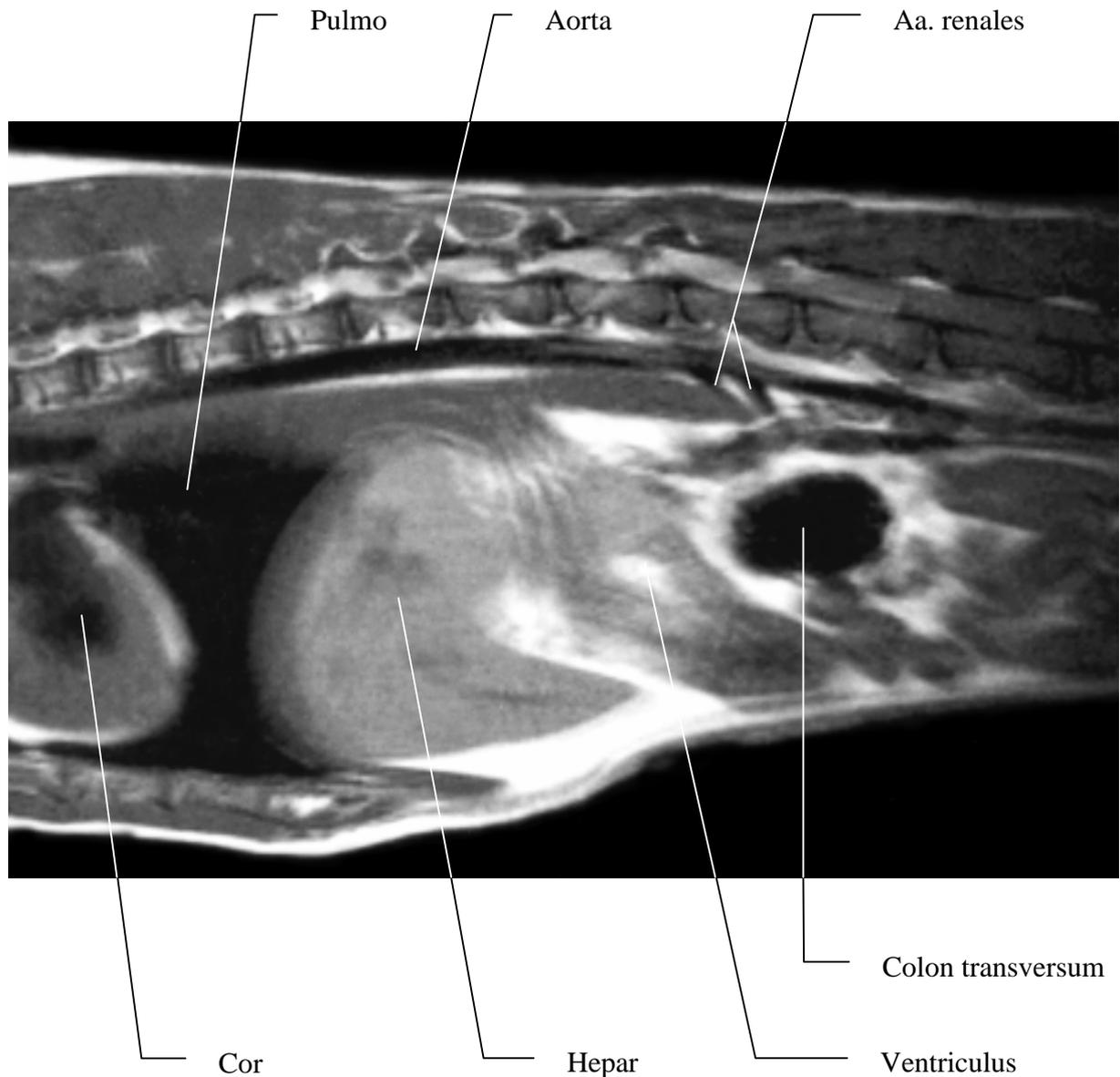
Katze männl.; 7 Jahre

TR 370.0

TE 12.0/1

AC 4

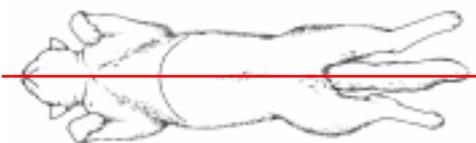
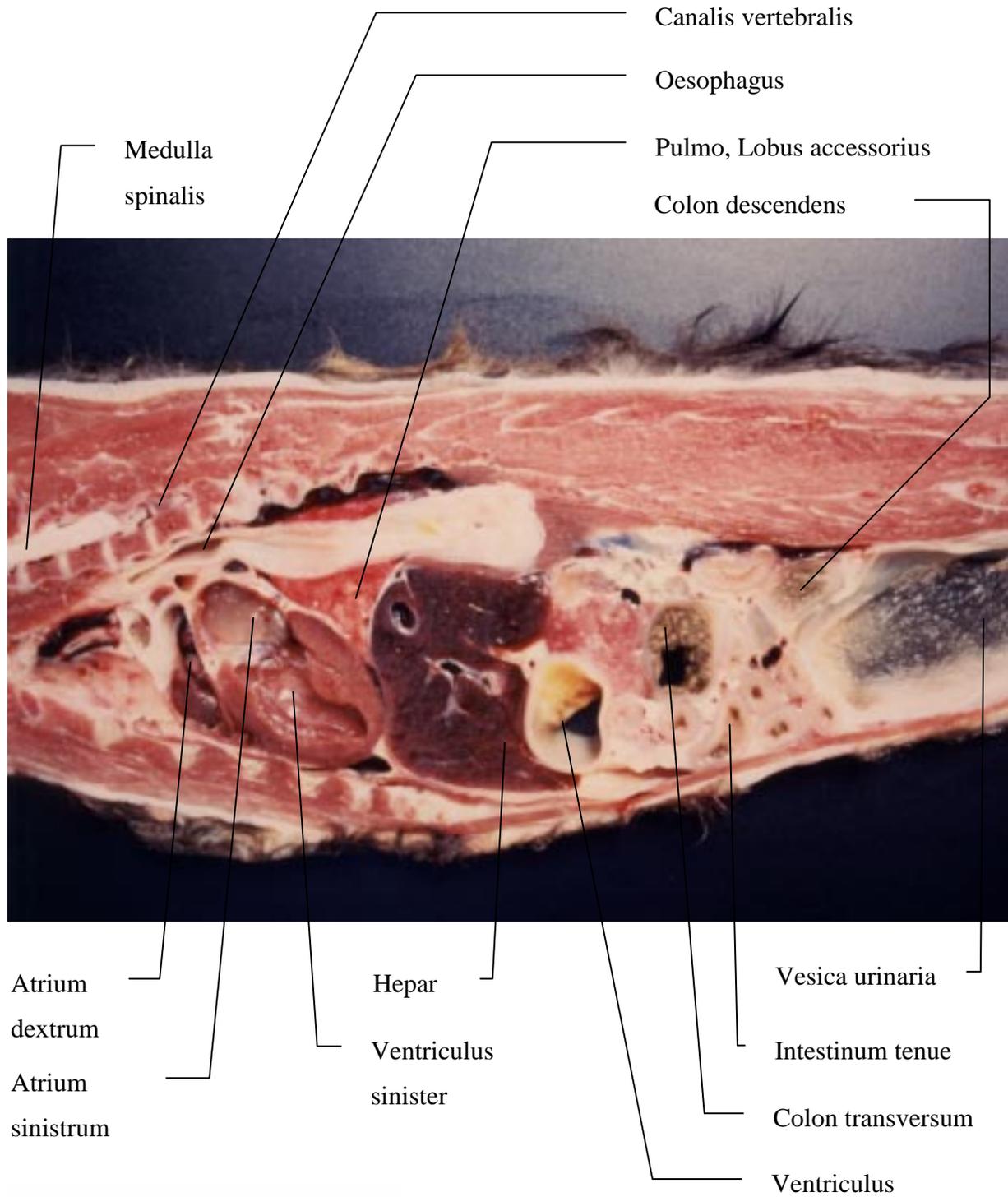
SD 3,0 mm



Große und mittlere Gefäße werden durch die relativ hohe Blutflußgeschwindigkeit zumeist signalfrei abgebildet. Die Anwendung von Kontrastmitteln zur Darstellung großer Gefäße ist nicht unbedingt erforderlich, kann jedoch den Kontrast merklich verbessern.

Abb.: VII/21, Katze männl.; 8 Jahre

Ansicht von links



MRT-Aufnahme Nr. S 88/100

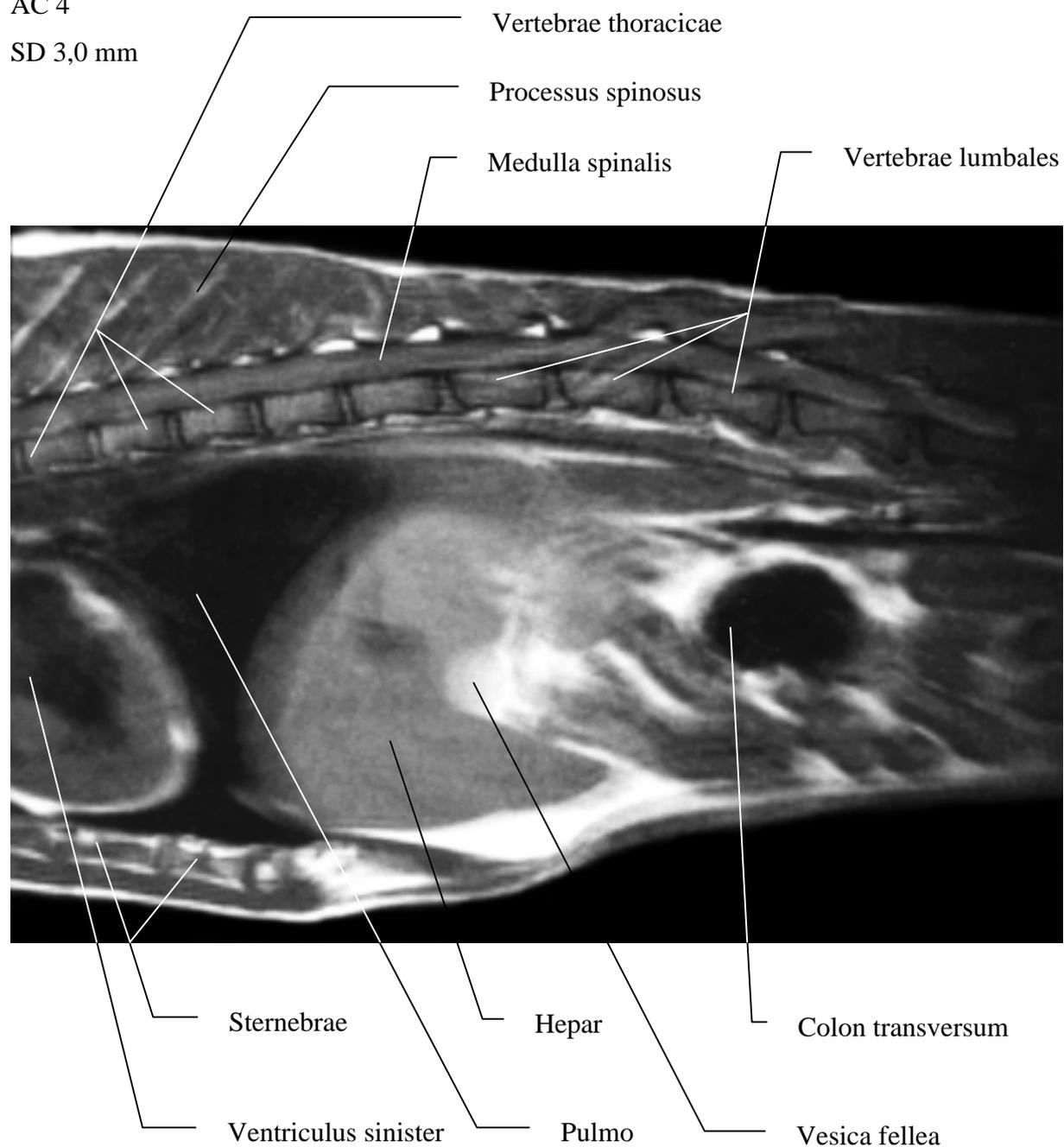
Katze männl.; 7 Jahre

TR 370.0

TE 12.0/1

AC 4

SD 3,0 mm



Auf T1-gewichteten Bildern weist das Myelon eine intermediäre SI auf und ist gut vom umgebenden dunkel dargestellten Liquor abgrenzbar. Im Thorakal- und Lumbalbereich ist das vorwiegend dorsal zwischen Duralsack und Lig. flava angelegte epidurale Fettgewebe SI-reich abgrenzbar.

3.2.3 Beschreibung von MRT-Aufnahmen und Vergleich mit anatomischen Präparaten der Bauchhöhle in transversaler Schnittebene

Abb.: II/6, Katze weibl.; 5 Jahre

Ansicht von kaudal

Vertebra thoracica

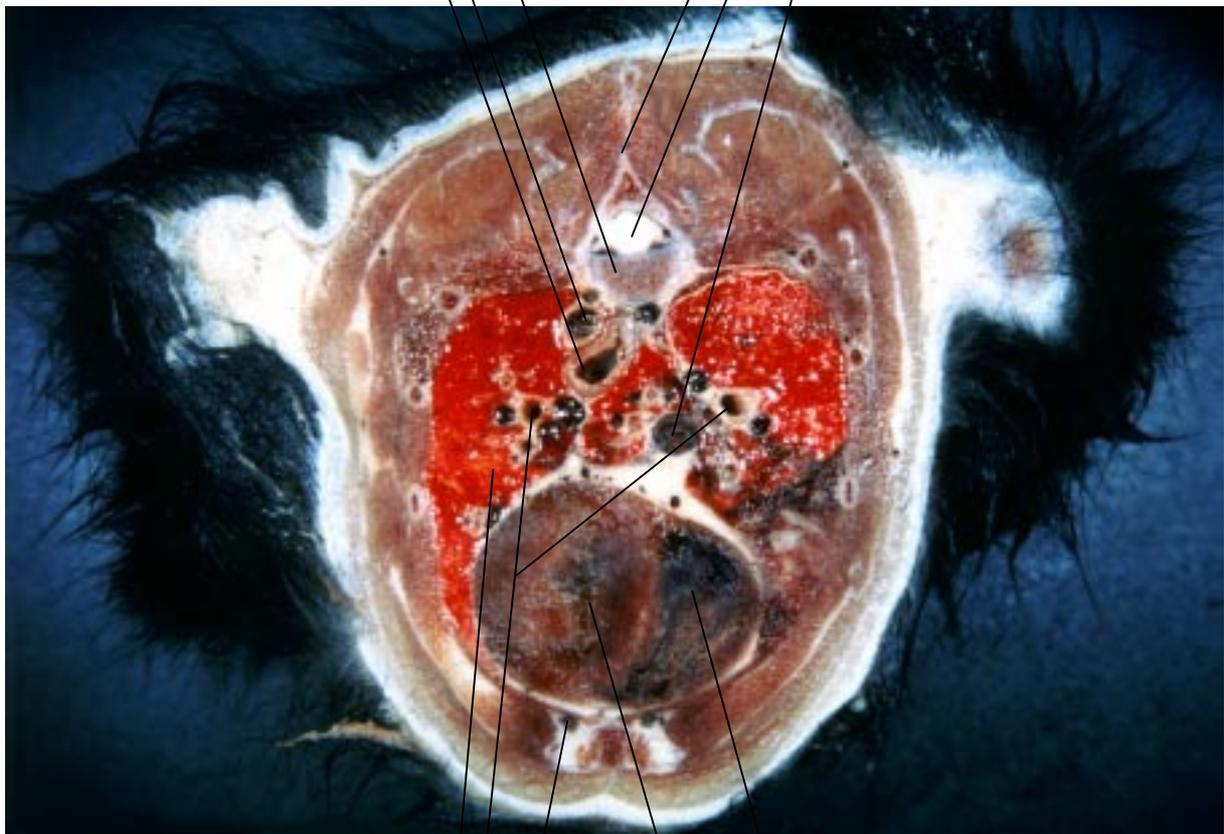
Aorta

Oesophagus

Processus spinosus

Medulla spinalis

V. cava caudalis



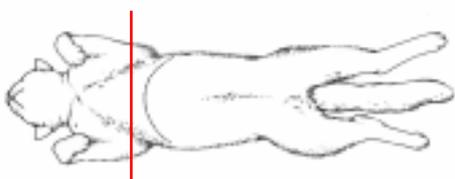
Pulmo

Bronchen

A. + V. thoracica interna

Ventriculus dexter

Ventriculus sinister



MRT-Aufnahme Nr. S 3/1

Katze weibl.; 3 Jahre

TR 370.0

TE 12.0/1

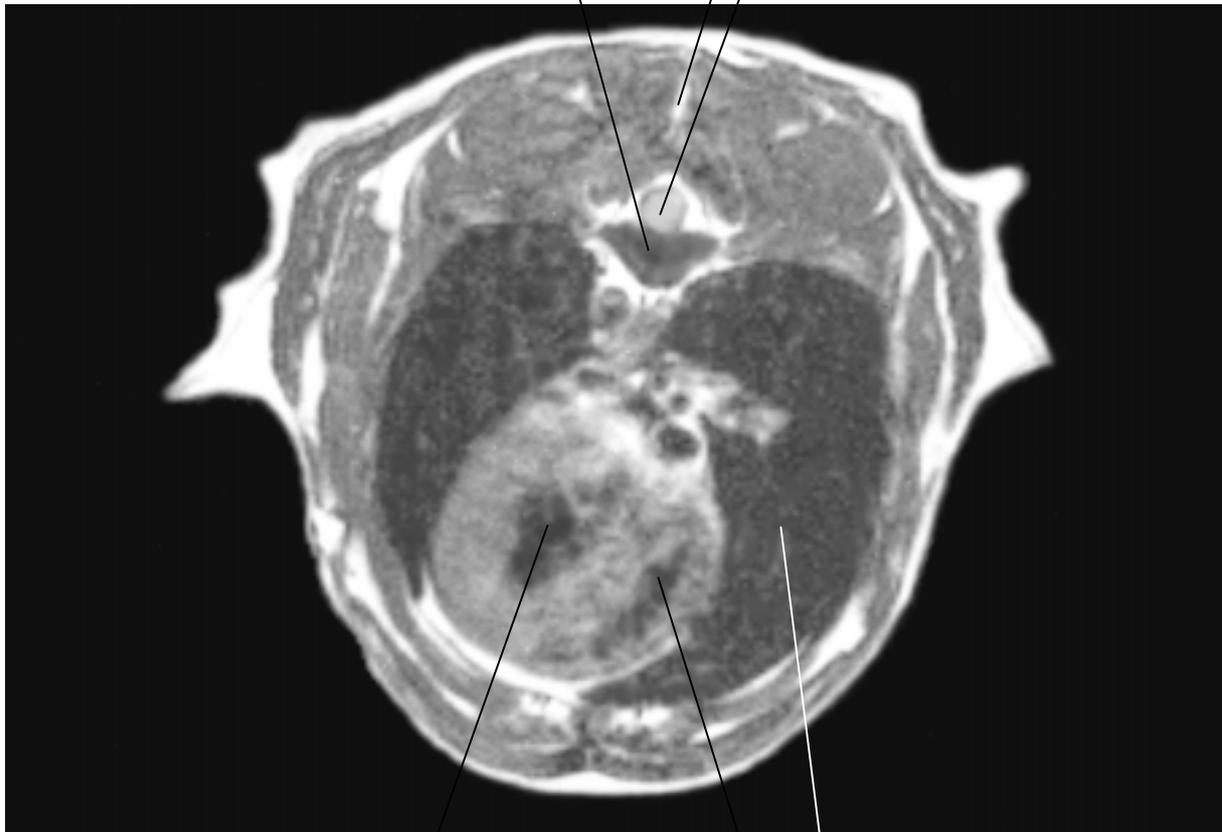
AC 4

SD 3,0 mm

Vertebra thoracica

Processus spinosus

Medulla spinalis



Ventriculus sinister

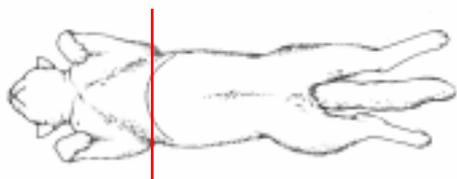
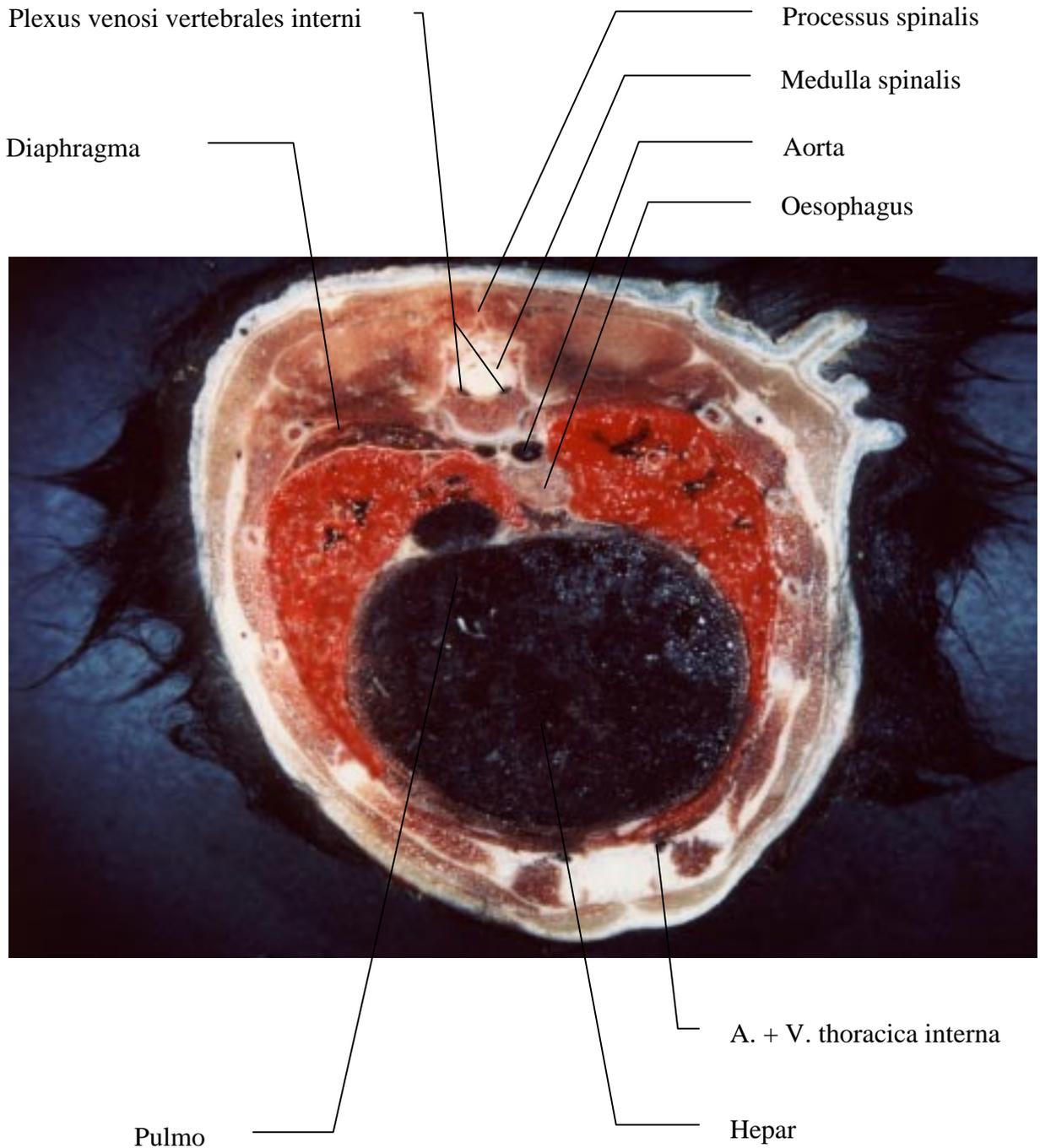
Pulmo

Ventriculus dexter

Bei noch höherer örtlicher Auflösung ist im Transversalschnitt die graue Substanz des Rückenmarks als schmetterlingsförmiges Areal mit erhöhter SI zu erkennen. Im Gegensatz zum Gehirn, wo die T1-Zeit der weißen Substanz kürzer ist als die der grauen Substanz, ist die T1-Zeit einiger Bahnen im Rückenmark länger oder gleich lang wie die der grauen Substanz.

Abb.: II/16, Katze weibl.; 5 Jahre

Ansicht von kranial



MRT-Aufnahme Nr. S 3/22

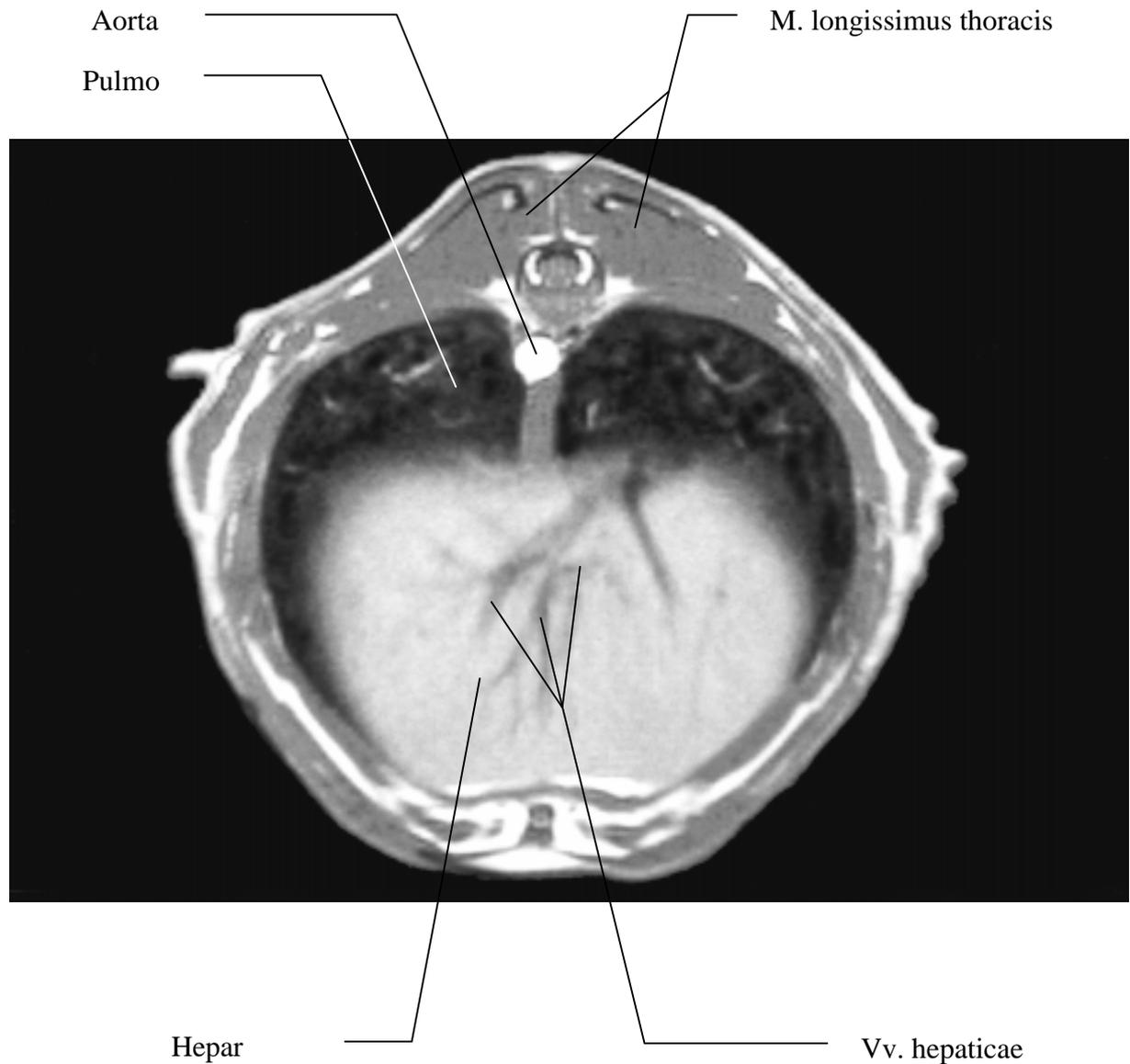
Katze weibl.; 3 Jahre

TR 370.0

TE 12.0/1

AC 4

SD 3,0 mm

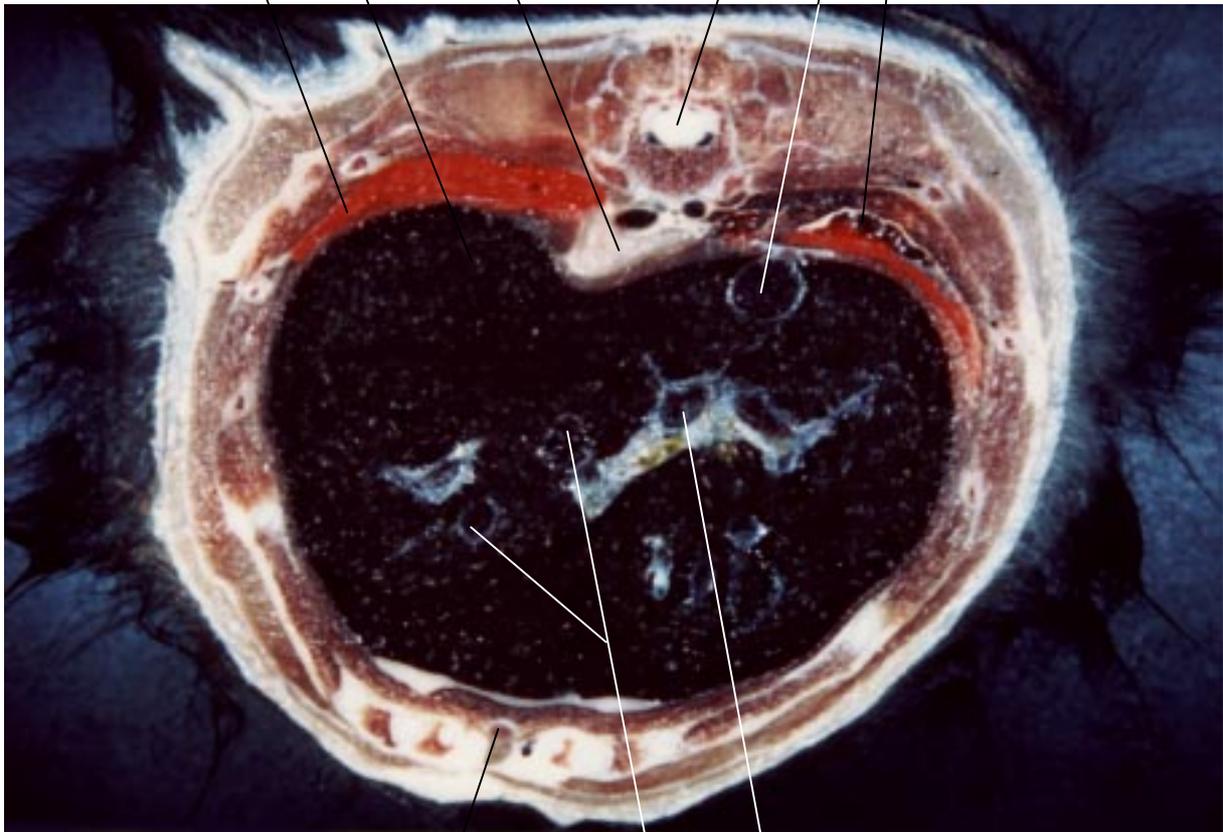


Auf dieser Aufnahme ist der Kontrast zwischen Muskulatur und Fettgewebe deutlich zu erkennen. Das Muskelgewebe erscheint in T1w- und in T2w- SE-Sequenzen mit homogen niedriger Signalintensität. Fettgewebe hat besonders bei T1w- Aufnahmen eine hohe Signalintensität und ist damit gut von der Muskulatur abgrenzbar.

Abb.: II/20, Katze weibl.; 5 Jahre

Ansicht von kaudal

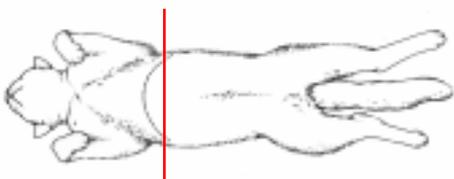
Oesophagus
 Hepar
 Pulmo
 Medulla spinalis
 V. cava caudalis
 Diaphragma



Sternum

V. portae

Vv. hepaticae



MRT-Aufnahme Nr. S 3/22

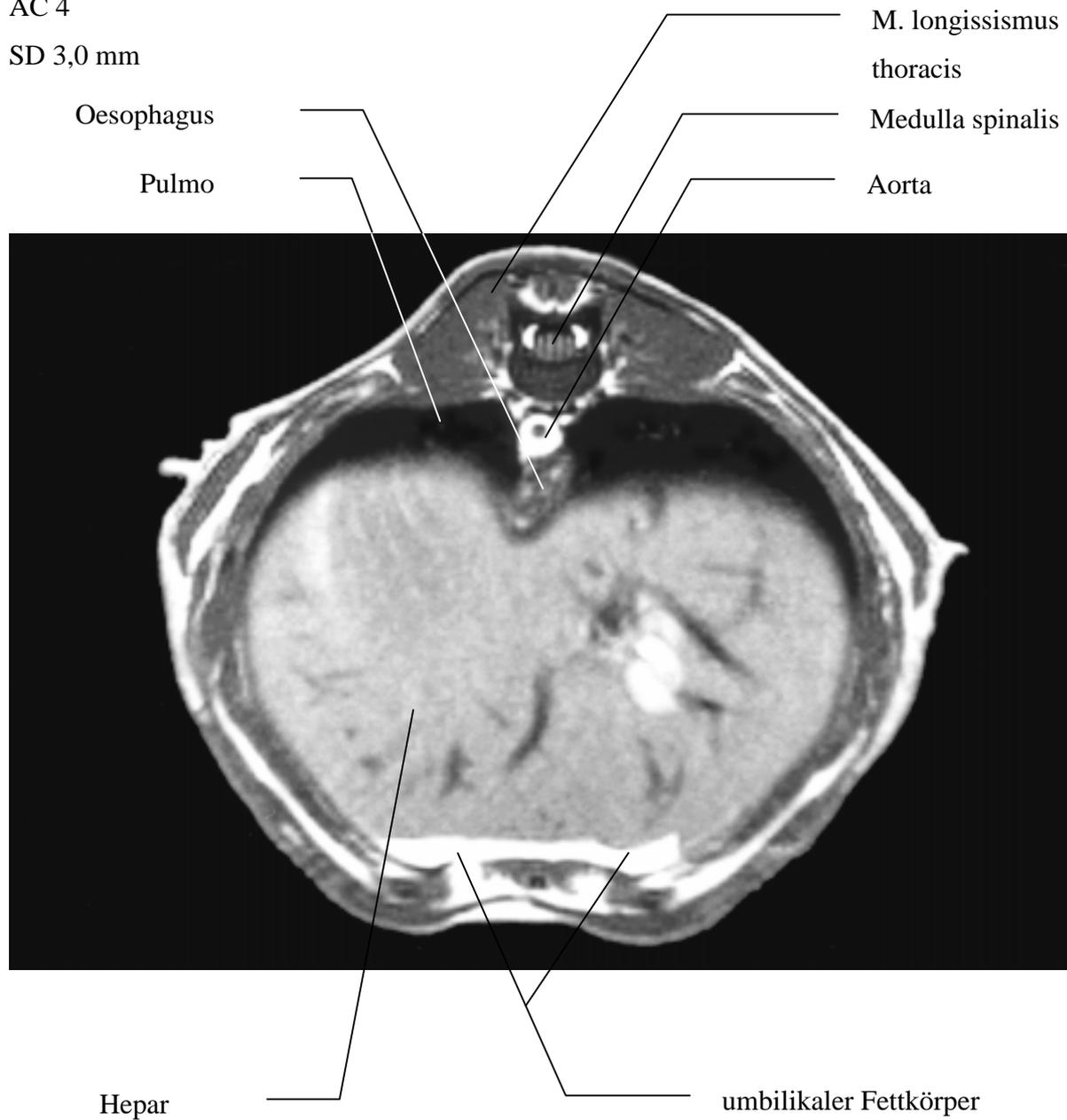
Katze weibl.; 3 Jahre

TR 350.0

TE 12.0/1

AC 4

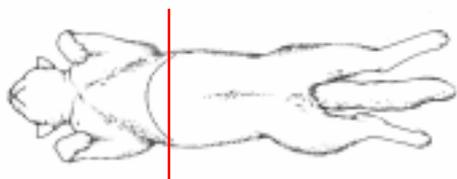
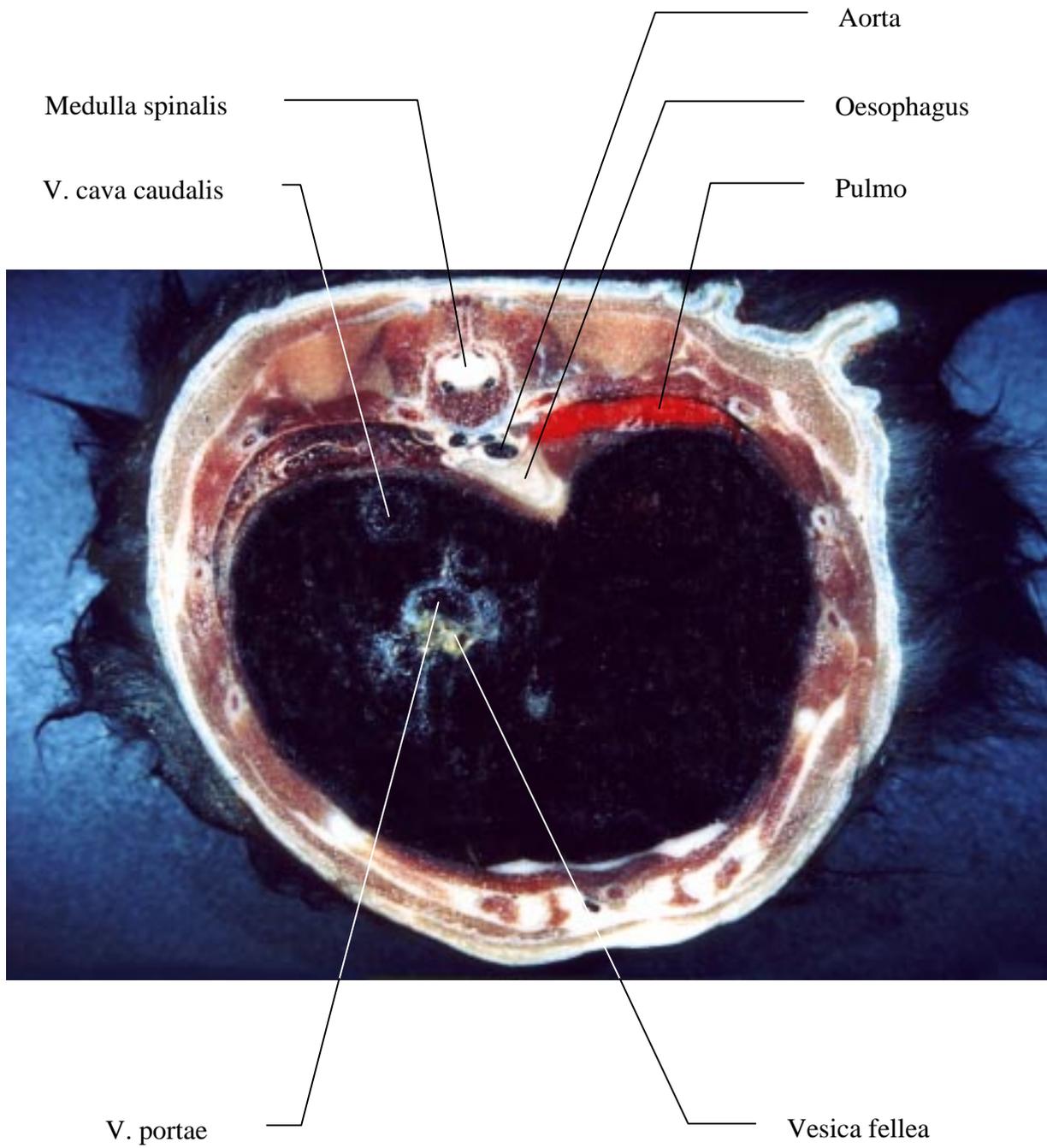
SD 3,0 mm



Der Oesophagus stellt sich als Struktur mit mittlerer SI dar. Das Lumen ist häufig nicht erfaßbar. Die paraoesophageale Fettschicht, welche im T1w- und T2w- Bild signalintensiv erscheint, kann individuell sehr unterschiedlich ausgeprägt sein, läßt den Oesophagus von Gefäßstrukturen oder der Trachea nur in einem Teil der Fälle abgrenzen.

Abb.: II/24, Katze weibl.; 5 Jahre

Ansicht von kranial



MRT-Aufnahme Nr. S 3/23

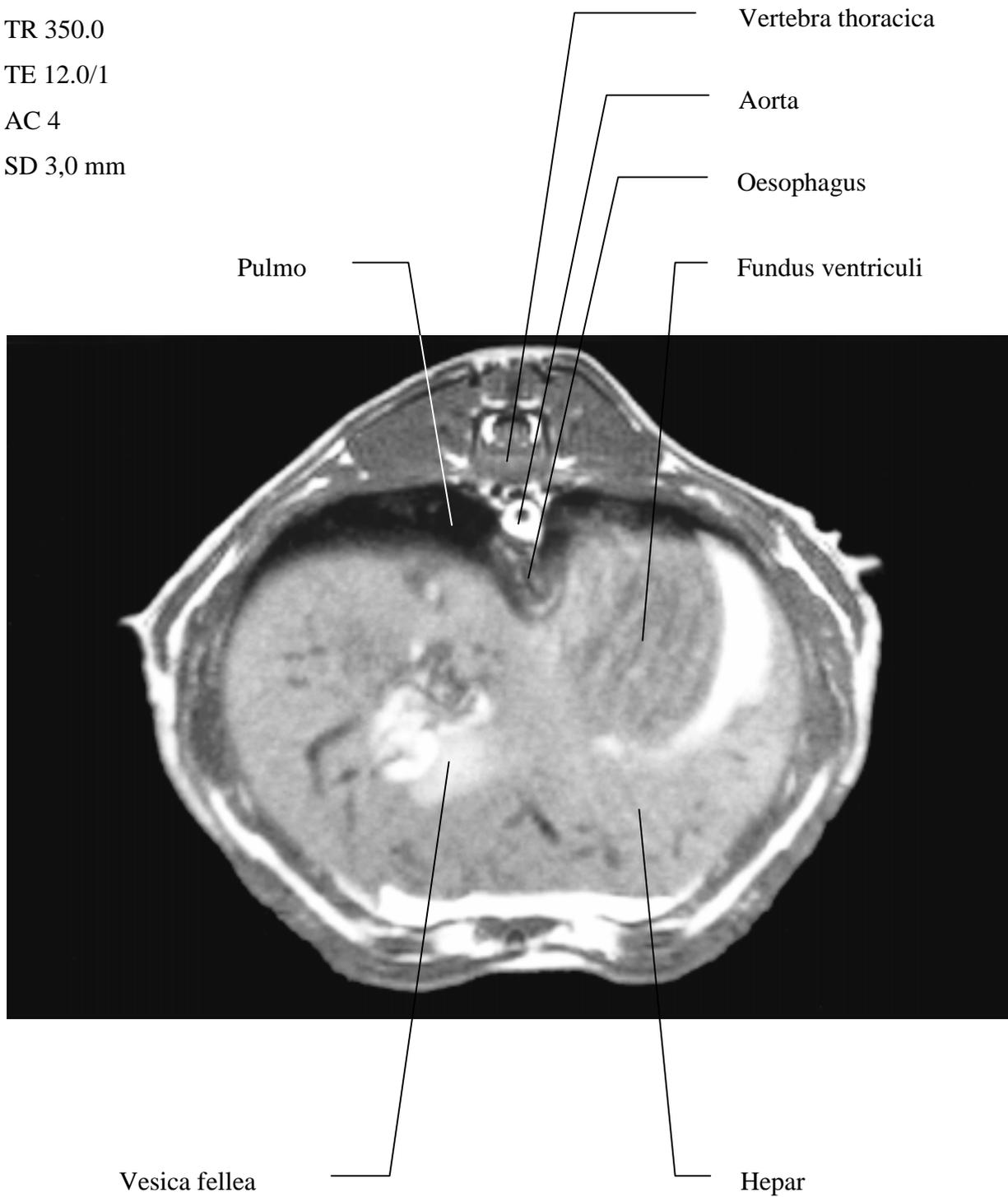
Katze weibl.; 3 Jahre

TR 350.0

TE 12.0/1

AC 4

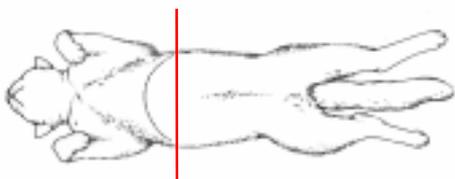
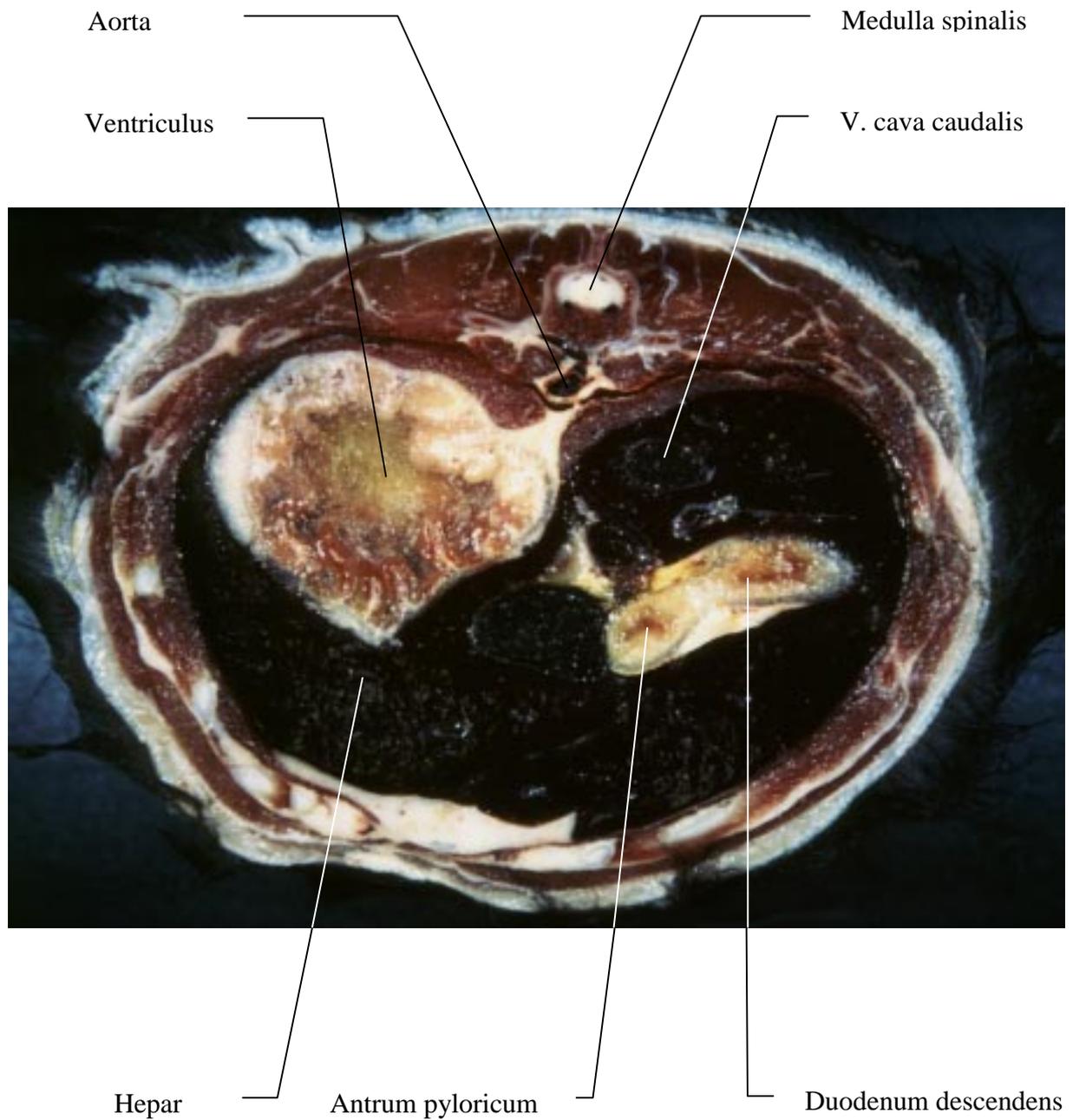
SD 3,0 mm



Auf dieser Aufnahme beginnt sich der Magen abzugrenzen. Das Lebergewebe hat eine höhere Signalintensität als der Magen. Signalintensives Fettgewebe im Magenbereich erhöht den Kontrast.

Abb.: II/25, Katze weibl.; 5 Jahre

Ansicht von kaudal



MRT-Aufnahme Nr. S 3/24

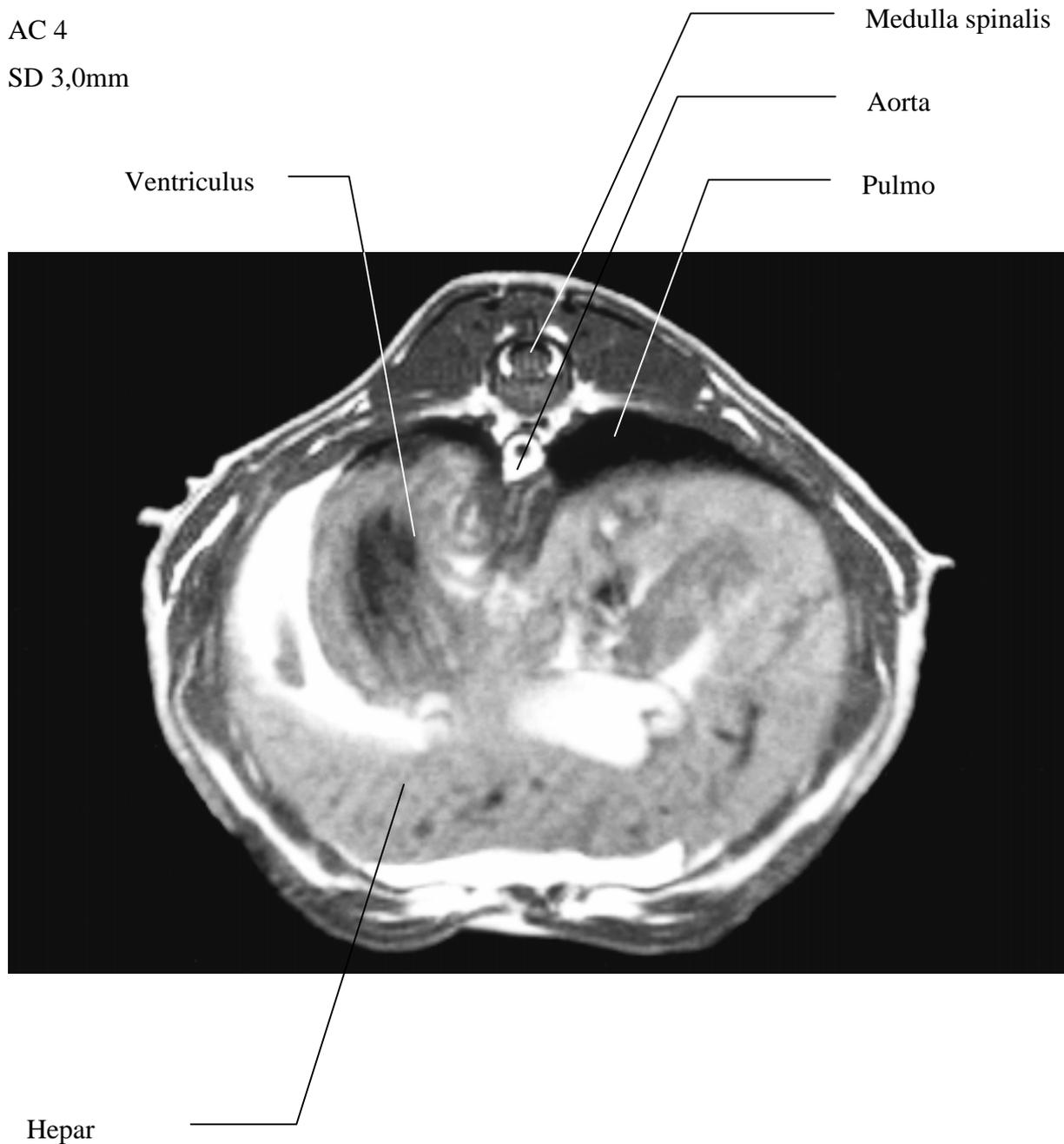
Katze weibl.; 3 Jahre

TR 350.0

TE 12.0/1

AC 4

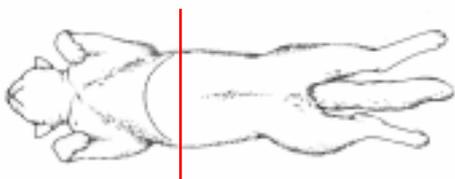
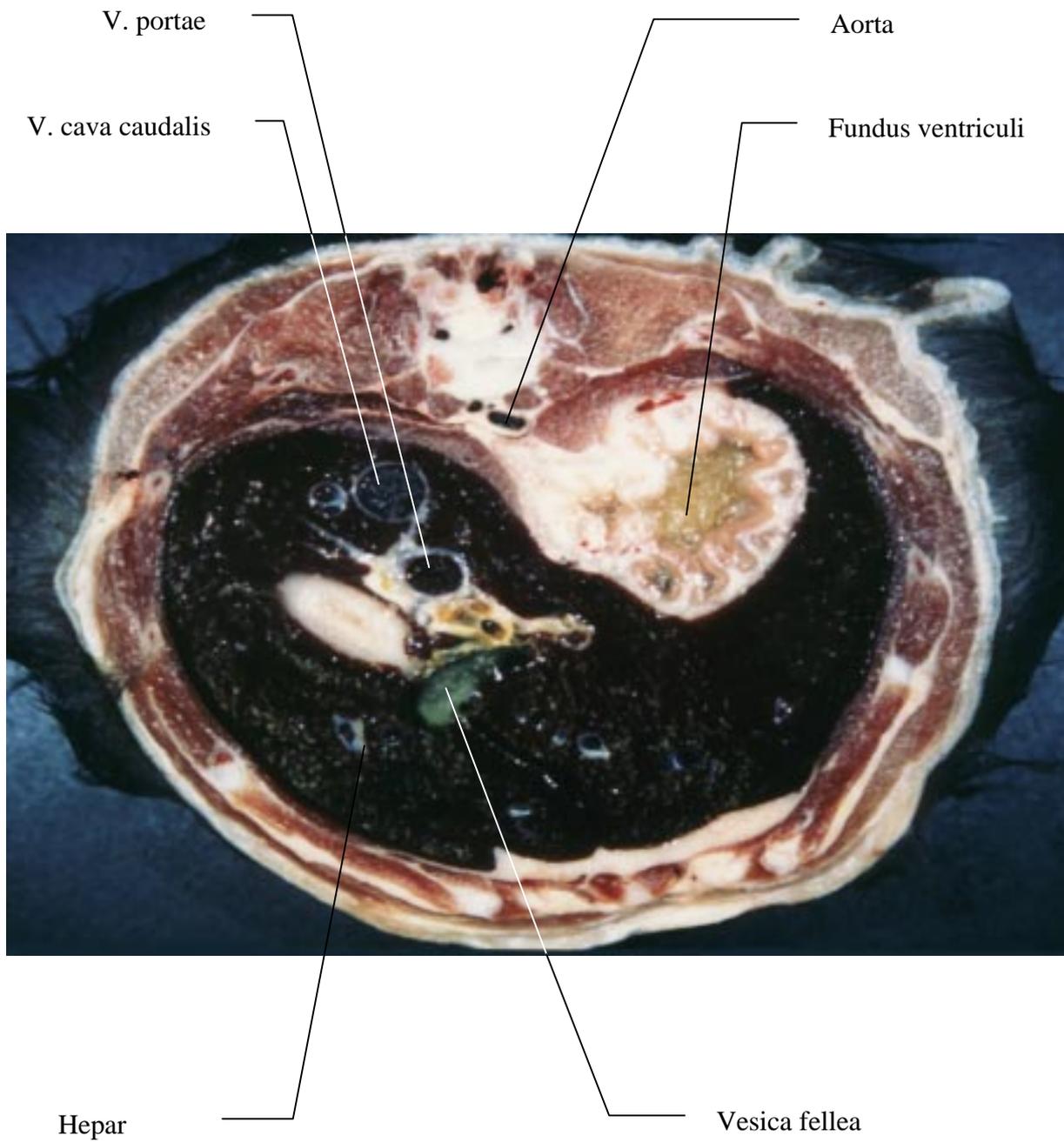
SD 3,0mm



Bei der MRT-Untersuchung der Leber ist sowohl eine T1w- als auch eine T2w-Messung erforderlich. Die Leberdiagnostik verfolgt zwei Ziele: einerseits die sichere Erkennung fokaler Läsionen und andererseits deren artdiagnostische Beurteilung. So sind der größte Teil benigner und maligner Lebertumoren in der T1w-Messung hypointens. Dagegen haben intrahepatische Blutungen im T1w-Bild einen SI-reichen Charakter.

Abb.: II/26, Katze weibl.; 5 Jahre

Ansicht von kranial



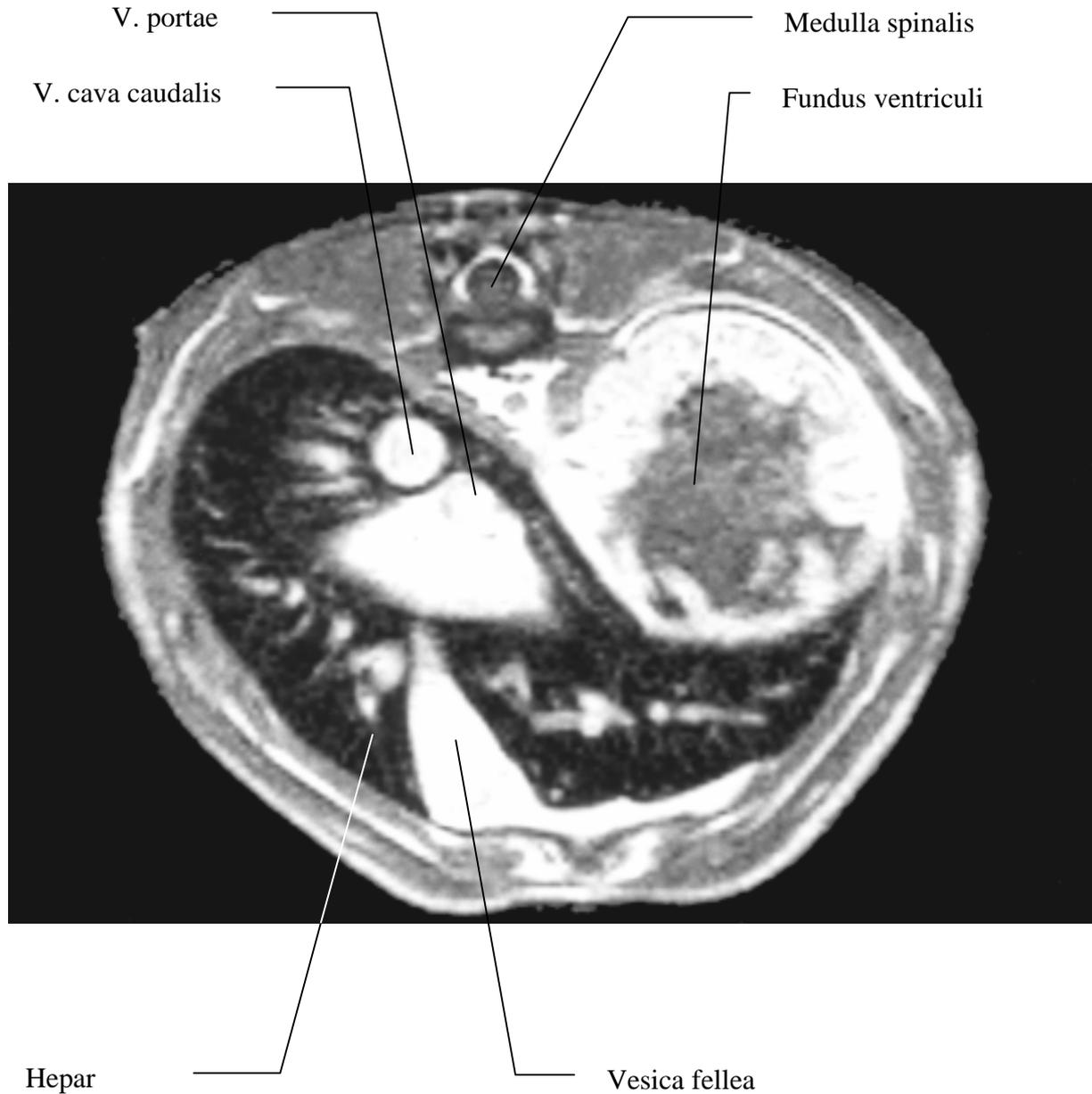
MRT-Aufnahme Nr. S 9/26

Katze weibl.; 4 Jahre

SE 407/14

SD 4,0 mm

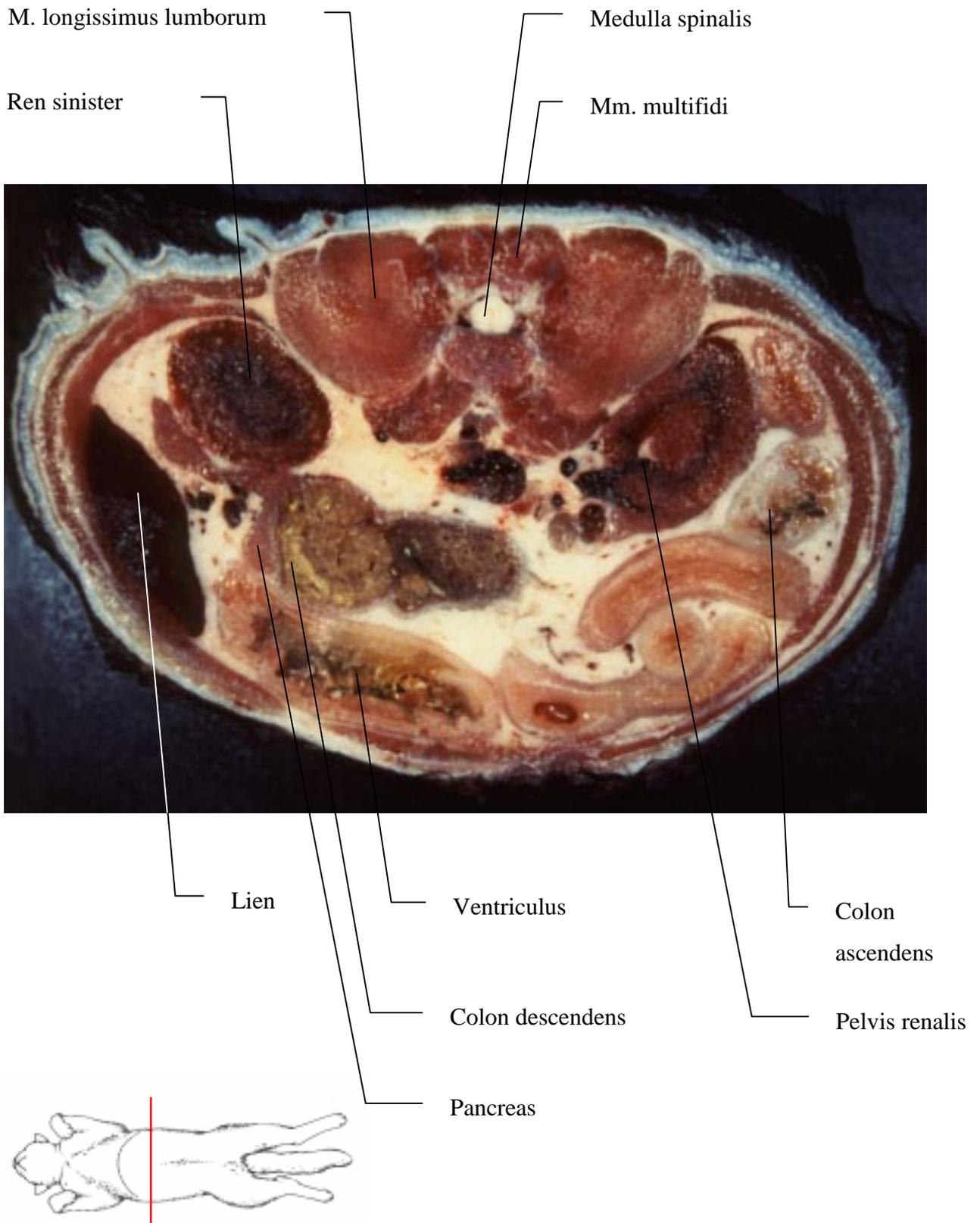
KM: Gd-DTPA



Die Gallenblase zeigt auf dieser Aufnahme eine sehr hohe SI und zeichnet sich damit deutlich vom umgebenden Lebergewebe ab. Das fast kreisrunde Lumen der V. cava caudalis ist ebenfalls sichtbar.

Abb.: I/20. Katze weibl.; 5 Jahre

Ansicht von kaudal



MRT-Aufnahme Nr. S 14/179

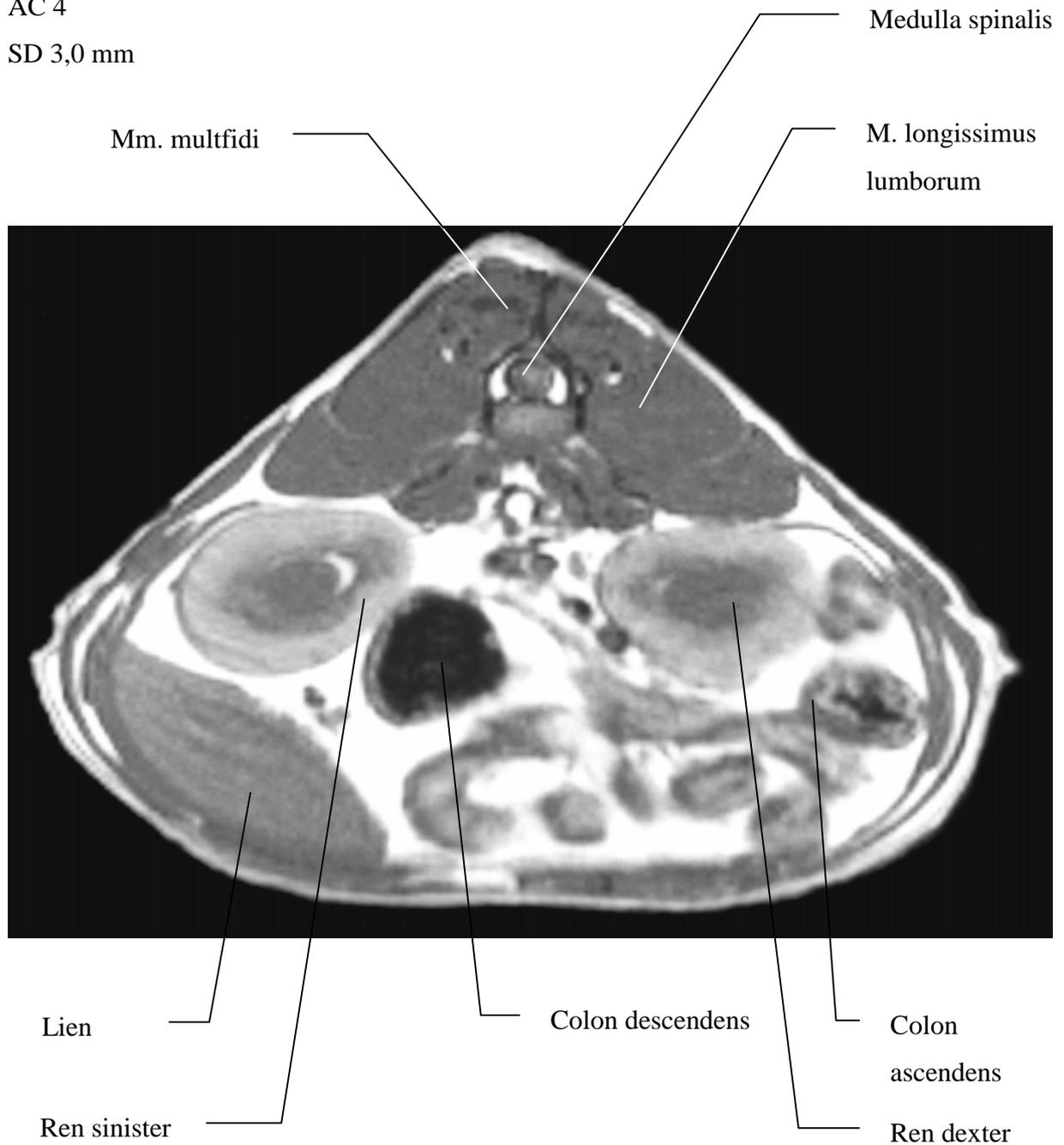
Katze weibl.; 4 Jahre

TR 370.0

TE 12.0/1

AC 4

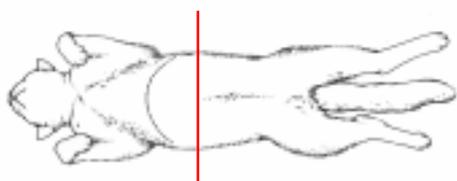
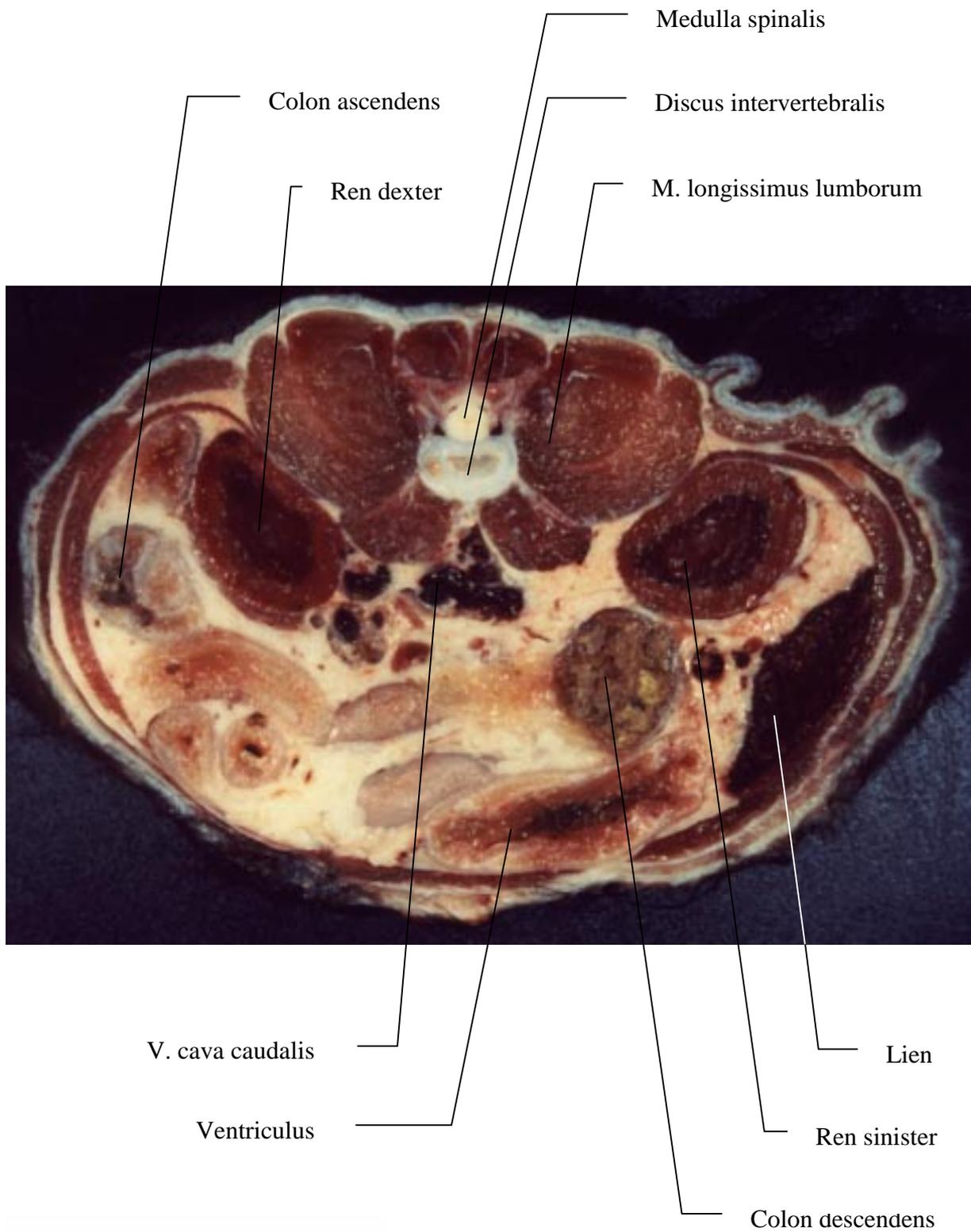
SD 3,0 mm



Die Rückenmuskulatur läßt sich auch mit KST-Aufnahmen gut differenzieren. Aufgrund ihrer relativ langen T1- und T2-Relaxationszeit lassen sich Muskeln als homogene dunkle Bündel gegen das umgebende Fettbindegewebe gut darstellen.

Abb.: I/21; Katze weibl.; 5 Jahre

Ansicht von kranial

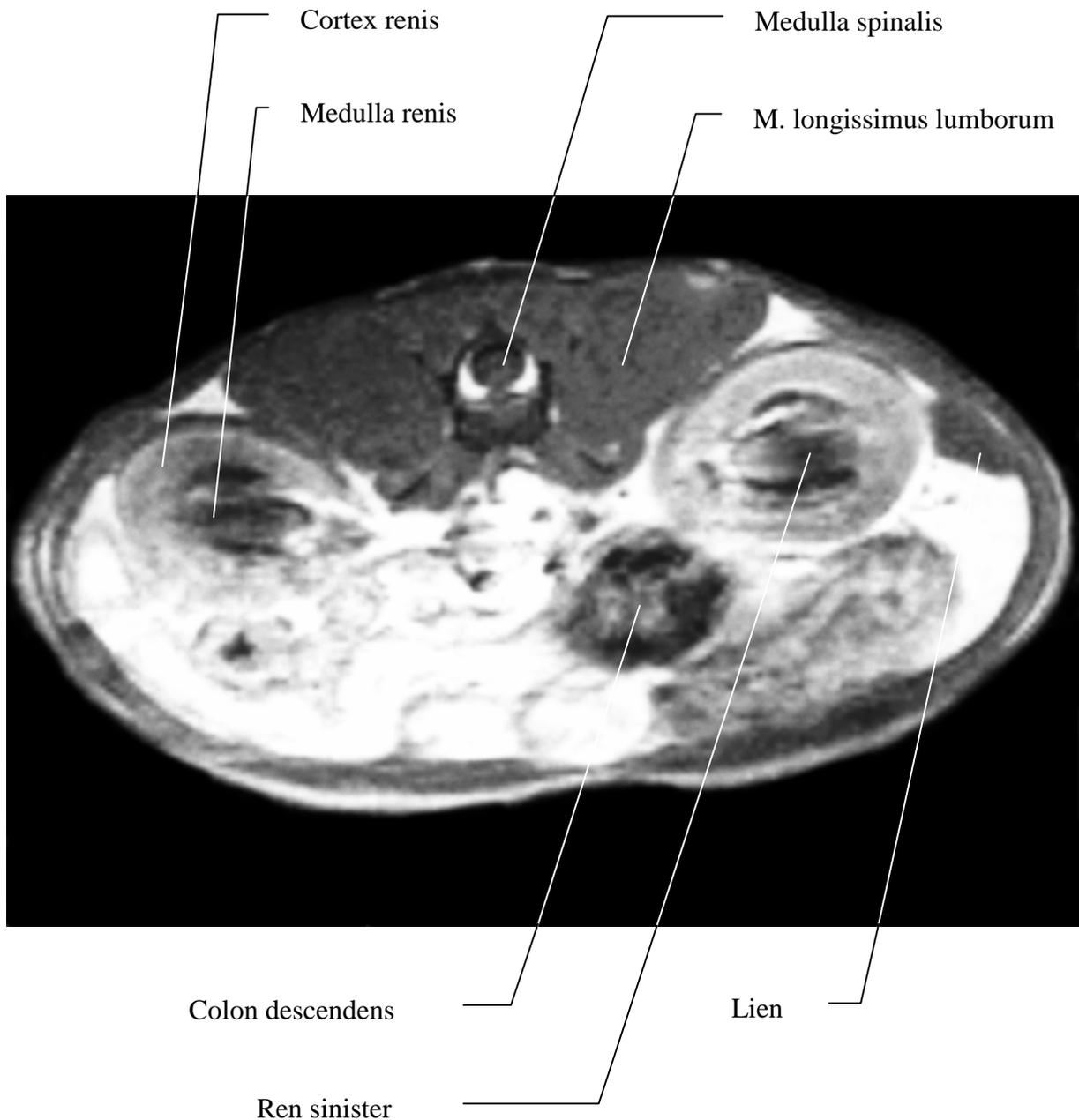


MRT-Aufnahme Nr. I/21

Katze weibl.; 20 Monate

SE 407/14

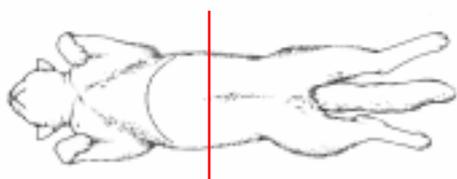
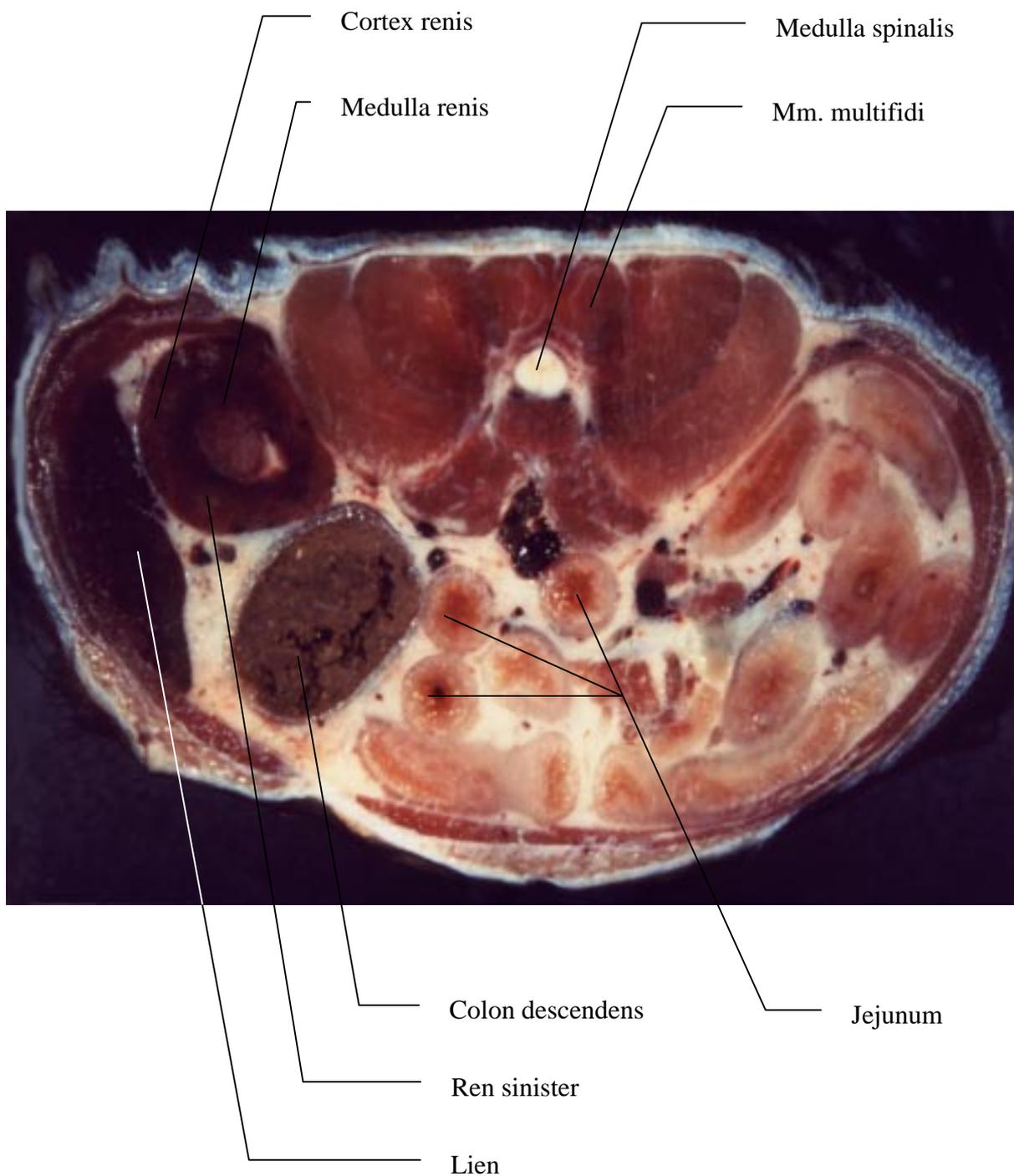
SD 3,0 mm



Auf dieser Transversalaufnahme sind die Nieren deutlich dargestellt, wobei die Nierenrinde eine mittlere und das Nierenmark eine niedrigere Signalintensität zeigt. Auf pw- und T2w-Aufnahmen ist dagegen keine kortikomedulläre Differenzierung nachweisbar. Das Nierenparenchym zeigt dort im Vergleich zu T1w- Aufnahmen eine deutlich höhere SI. Der Blutfluß ist die Ursache, daß die Gefäße des Nierenhilus signalfrei dargestellt sind.

Abb.: I/24, Katze weibl.; 5 Jahre

Ansicht von kaudal



MRT-Aufnahme Nr. S 14/184

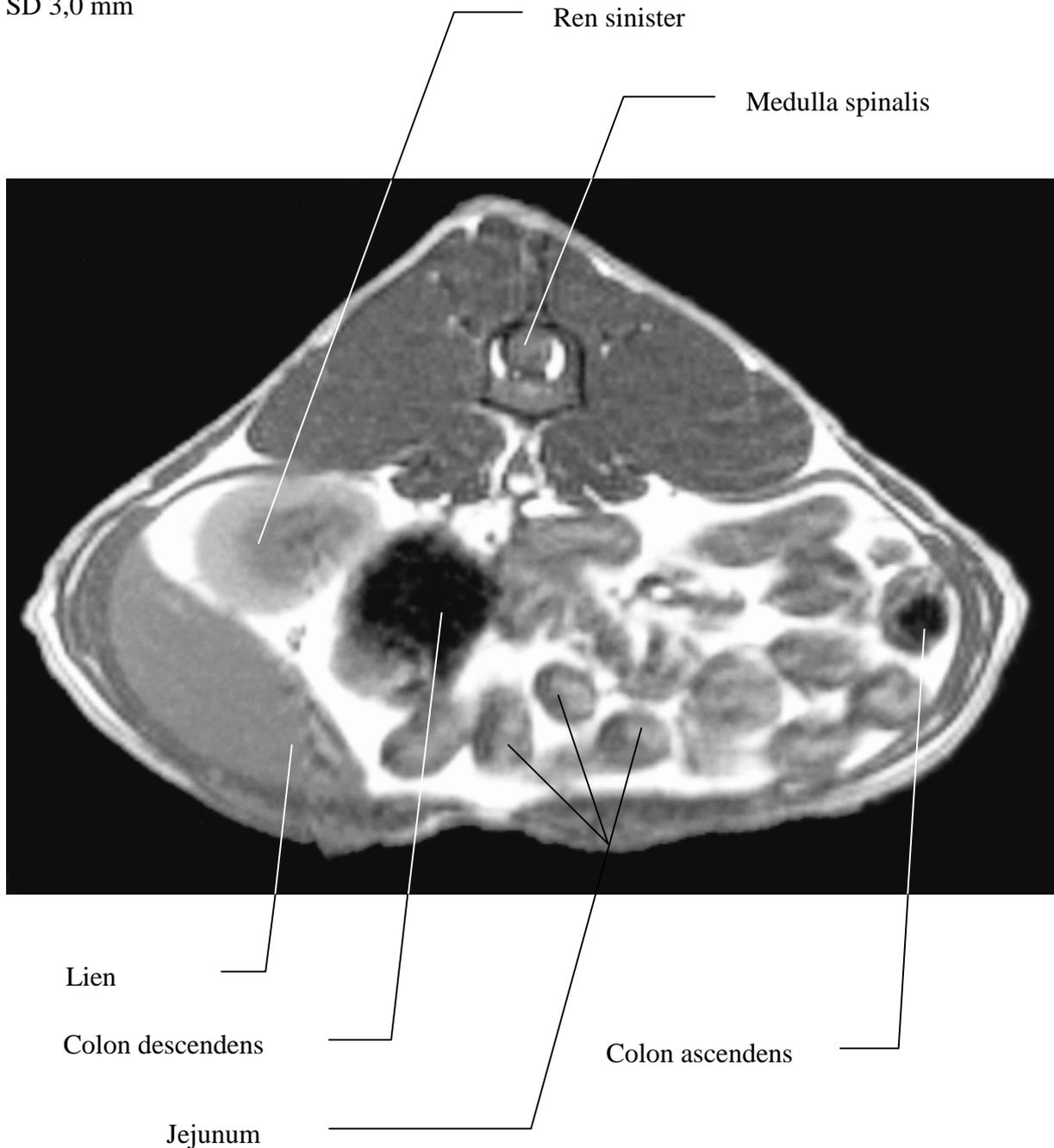
Katze weibl.; 4 Jahre

TR 370.0

TE 12.0/1

AC 4

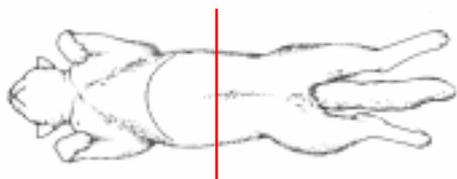
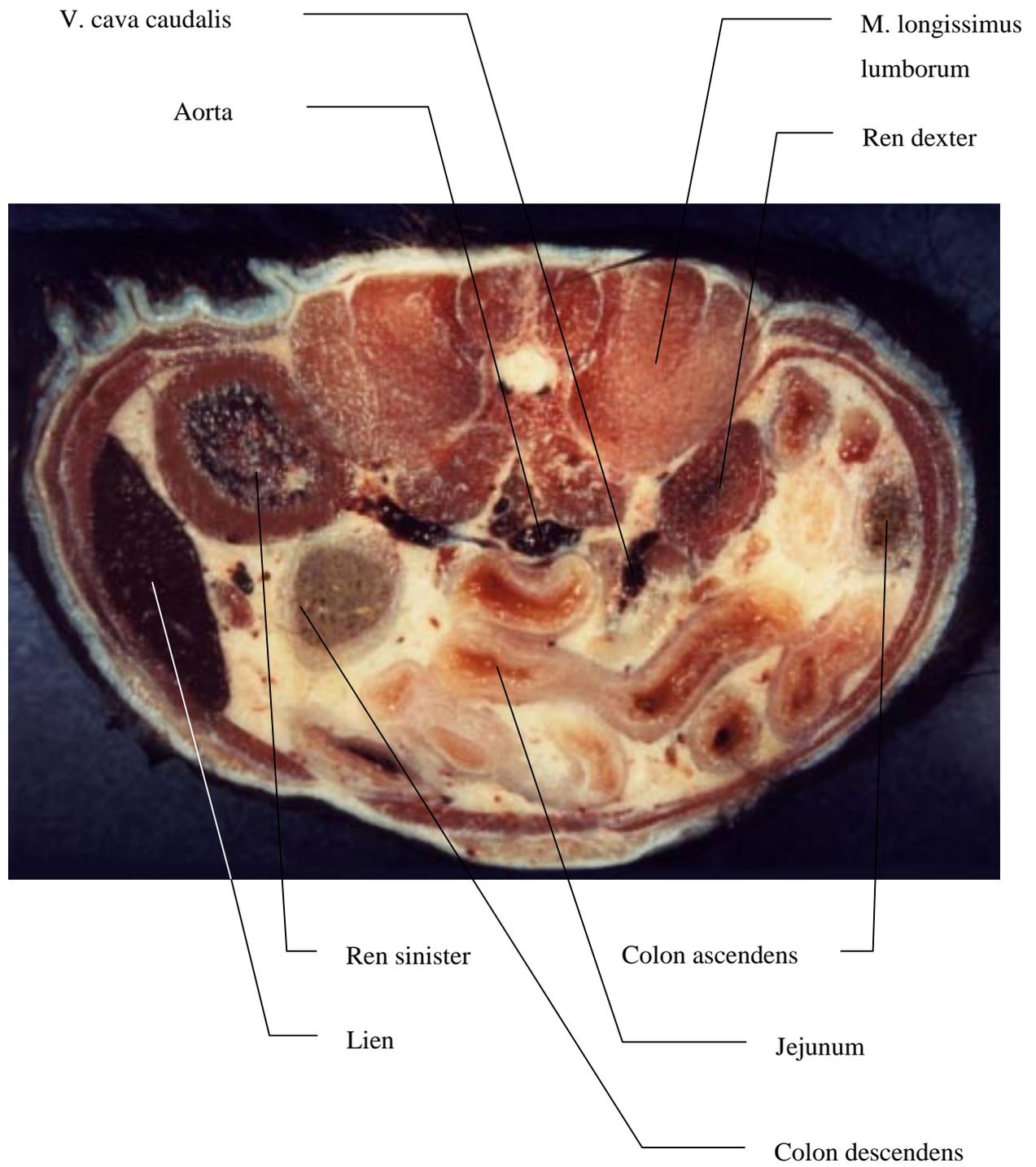
SD 3,0 mm



Die Milz lässt sich auf dieser Aufnahme gut in Form und Größe darstellen. Im Vergleich zur Leber zeigt die Milz bei T2- betonter Pulssequenz ein höheres Signal und wird bei T1- betonter Pulssequenz isointens bis hypointens. Fokale Milzläsionen, wie Tumore, Abszesse oder Infarkte sind in ihrem kernspintomographischen Bild fokalen Leberläsionen sehr ähnlich.

Abb.: I/19, Katze weibl.: 5 Jahre

Ansicht von kaudal



4. Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, MRT-Aufnahmen der Bauchhöhle der Katze anzufertigen und mit entsprechenden anatomischen Präparaten zu vergleichen. Dabei stand die topographische und angewandte Anatomie im Mittelpunkt. Dem Anwender dieser neuen Bilddarstellungsverfahren soll mit den angefertigten Aufnahmen eine gute Vergleichsmöglichkeit geschaffen werden. Grundlage sollte immer eine fundierte Kenntnis der topographischen und angewandten Anatomie der Katze sein. Als besonders interessant ergaben sich während der Anfertigung der Arbeit folgende Aspekte:

Mit dem Einsatz der Kernspintomographie ergeben sich viele neue Möglichkeiten, sowohl in diagnostischer, als auch therapeutischer Hinsicht. In Anlehnung an den Einsatz in der Humanmedizin kann die Kernspintomographie in der Diagnostik besonders von Leber-, Milz- und Nierenerkrankungen eine sinnvolle Bereicherung darstellen.

Die Diagnostik kleinster, maligner Tumore ist mit der Kernspintomographie möglich geworden. So lassen sich frühzeitig Metastasierungen erkennen. Auch ist die anschließende operative Behandlung besser durch MRT-Aufnahmen durchzuführen. In diesem Zusammenhang ergibt sich auch ein leichteres Prognostizieren einer Erkrankung, wenn der behandelnde Arzt auf solche Bilddarstellungsverfahren zurück greifen kann.

Bei einigen Erkrankungen ist heute mit Sicherheit die Kernspintomographie in der Humanmedizin das Untersuchungsverfahren der Wahl. Außerdem ist die Kernspintomographie, neben dem Ultraschall, die einzige Untersuchungstechnik, die Aussagen zur Funktion von Organen liefert ohne ionisierende Strahlen anzuwenden. Dies ist von besonderer Wichtigkeit bei der Untersuchung von wertvollen Zuchttieren. Durch den Einsatz von speziellen Spulen kann man Veränderungen im mikroskopischen Bereich feststellen.

Weiterhin ermöglichen Kontrastmittel funktionelle Aussagen zu den entsprechenden Organsystemen. Intrahepatische Gefäße und Gallengänge sind gut darstellbar und ermöglichen eine deutlich verbesserte Bilddarstellung der Leber. Bei der Leberuntersuchung im Kernspintomographen sind sowohl T1-gewichtete, als auch T2-gewichtete Messungen erforderlich. Damit lassen sich fokale Leberläsionen erkennen und artdiagnostisch beschreiben. In einer T1w-Messung ist der größte Teil benignen und malignen Lebertumore hypointens. Im Gegensatz dazu haben intrahepatische Blutungen einen SI-reichen Charakter. Deutlich ist im Vergleich zur Computertomographie und konventioneller Röntgentechnik der

höhere Kontrast der Weichteile bei der Kernspintomographie. Aufgrund des hohen Kontrastes zwischen Nierenrinde und perirenalem Fettgewebe sind die Nieren gut von der Umgebung abzugrenzen. So zeigt die Nierenrinde eine mittlere, das Nierenmark eine niedrigere Signalintensität. Zur Differenzierung von Nierenparenchym, Nierenrinde und Nierenmark haben sich T1-gewichtete Sequenzen bewährt. Im Gegensatz dazu ließen sich die Ureteren auf T2-gewichteten Aufnahmen erkennen.

Als weiteres Weichteilorgan ließ sich die Milz in Größe und Form gut darstellen. Im Vergleich zur Leber zeigt die Milz bei T2-betonten Pulssequenzen ein höheres Signal und ist bei T1-betonten Sequenzen isointens bis hypointens. Ein Nachteil der Kernspintomographie gegenüber dem Röntgen stellt die begrenzte Beurteilungsmöglichkeit kompakter Knochenstrukturen dar. Artefakte von Knochen, wie sie bei der Computertomographie gelegentlich entstehen können, gibt es auf MRT-Aufnahmen nicht.

Zur Untersuchung von Gefäßen eignen sich konventionelle SE- und IR-Techniken als auch Gradienten-Echo-Techniken. Deutlich ist der hohe intrinsische Kontrast zwischen strömendem Blut, welches in der Regel intensitätslos ist, und soliden Strukturen. Im Vergleich zur Angiographie liefert die Kernspintomographie annähernd gleich gute Informationen.

Für eine bewegungsartefaktfreie Darstellung der Aorta und der V. cava caudalis ist eine EKG-Triggerung notwendig. Bewegungen des Patienten müssen im gesamten Untersuchungsablauf unterbleiben. Es können heute Atem- und Herzbewegungen im Respirations- bzw. Herzzyklus getriggert und damit aufgehoben werden.

In der Zukunft wird die Entwicklung schnellerer Bildgebungssequenzen eine Verbesserung der Bildqualität nach sich ziehen. Die Kernspintomographie erweist sich als eine Untersuchungsmethode mit geringen Nebenwirkungen. Damit stellt sich ein weiterer Vorteil heraus. Der einschränkende Faktor sind die hohen Anschaffungs- und Unterhaltungskosten einer solchen Anlage. Hier kann nur die Zukunft beweisen, daß durch verstärkten Einsatz in der Humanmedizin die Produktion dieser Geräte steigt und damit in der Summe diese Technologie günstiger wird. Sicher werden dem Praktiker in naher Zukunft solche Anlagen an Tierärztlichen Fakultäten bzw. Tierkliniken zur Verfügung stehen.

Die Bauchhöhle der Katze läßt sich kernspintomographisch hervorragend darstellen, wobei die Untersuchung des Magen-Darm-Traktes noch nicht weit entwickelt ist. Dazu laufen Studien in der Humanmedizin, die sich besonders mit der kernspintomographischen Diagnostik chronischer Darmerkrankungen befassen. Die Anwendung in der Tiermedizin wird auch in längerer Sicht nicht gegeben sein.

Aus der vorliegenden Arbeit läßt sich der hohe diagnostische Wert der Kernspintomographie erkennen, wobei dies eine Variante darstellt. Vielmehr ließ sich schnell erkennen, daß kleinste anatomische Strukturen aufgenommen werden konnten, ohne sie aus dem organischen Verbund zu lösen. Ein gewöhnliches Präparieren mit Skalpell und Pinzette erwies sich als nicht mehr notwendig. In hoher Bildqualität kann man die Anatomie der Bauchhöhle beschreiben und eine MRT-Aufnahme ist, im Gegensatz zu einem anatomischen Präparat, beliebig oft reproduzierbar. So konnte in dieser Arbeit die oft kontrovers diskutierte Impressio renalis eindeutig nachgewiesen werden. Solche Aufnahmen lassen auch das topographisch-anatomische Studium in eine neue Qualität rücken. Ohne Zweifel wird die sichere Hand des Graphikers, im Verbund mit dem Tierpräparator, weiterhin einen wichtigen Beitrag in der anatomischen Forschung leisten, doch im Hinblick auf diese neuen Bilddarstellungsverfahren ergeben sich große Möglichkeiten. Die bildlich genaue Wiedergabe der anatomischen Verhältnisse hilft auch dem Studierenden beim anatomischen Studium. In jeder Schnittebene ließen sich anatomische Details mit der Kernspintomographie beschreiben und durch die Präparate absichern. Der Einsatz der Kernspintomographie in der Veterinärmedizin sollte besonders im tierexperimentellen Bereich verstärkt werden. Tierexperimentelle Forschungen werden besonders an klinischen Zentren durchgeführt, die auch Kernspintomographen im normalen Klinikbetrieb nutzen. So ließe sich in der Tumorforschung die Untersuchung der Labortiere (Hepatom-Mäuse etc.) verbessern. Einerseits kann mit der Kernspintomographie eine gute Tumordiagnostik durchgeführt werden, andererseits ist diese Untersuchungsmethode für das Tier schonend und eine rein diagnostische Tötung der Labortiere unnötig. Dadurch ergibt sich ein wichtiger Ansatz aus der Sicht des Tierschutzes. Mit der Ausdehnung der Anwendung der Kernspintomographie auf dem tierexperimentellen Gebiet lassen sich bestehende Anlagen mit Sicherheit effektiver nutzen. Durch Wirtschaftlichkeitsanalysen konnte gezeigt werden, daß solche teuren Geräte im Schichtbetrieb genutzt werden sollten. Warum nicht nachts, außerhalb des gewöhnlichen Patientenbetriebes, für veterinärmedizinische Untersuchungen. Einen solchen Anstoß soll diese Arbeit auch geben, denn sie wurde schließlich an einem Klinikum durchgeführt.

Diese Arbeit zeigt die gute Darstellungsmöglichkeit der Bauchhöhle der Katze mit Hilfe der Kernspintomographie. Derartige Arbeiten im gleichen Umfang sind noch sehr selten.

Kürzlich erschien ein MRT- und CT-Atlas des Hundes (Assheuer u. Sager, 1997). Für die Beschreibung der Anatomie der Katze mit Hilfe der Kernspintomographie soll diese Arbeit einen Beginn darstellen, dem klinischen Anwender behilflich sein und gleichermaßen den

Studierenden unterstützen. Weiterführende veterinärmedizinische Untersuchungen mit der Kernspintomographie beschränkten sich bisher auf die Untersuchung des Schädels. Die Diagnostik von Gehirnerkrankungen ist die eigentliche Domäne der Kernspintomographie in der Humanmedizin. So befassen sich einige Arbeiten mit der Untersuchung von Hirntumoren bei Hunden.

Der Einsatz der Kernspintomographie zur Beschreibung der Anatomie der Bauchhöhle der Katze erwies sich als sinnvolle Bereicherung und Unterstützung auf diesem Gebiet. In sehr guter Qualität ließen sich MRT-Aufnahmen anfertigen. Der Betrachter kann sich so mit einem aussagekräftigen und vielseitigen, diagnostischen Bild darstellungsverfahren vertraut machen.

5. Zusammenfassung

In der heutigen Zeit werden die anatomischen Studien mittels Skalpell und Pinzette durch bildgebende Verfahren vervollständigt. Mit dieser Entwicklung haben sich viele neue Möglichkeiten, sowohl in diagnostischer, als auch in therapeutischer Hinsicht aufgetan. Besonders nichtinvasive Techniken werden in der Humanmedizin, wie auch in der Veterinärmedizin, schnell aufgegriffen und akzeptiert. In der Tat profitiert die Veterinärmedizin erheblich von der rapiden Entwicklung in der Human-Radiologie. Aufgrund der ständigen Verbesserung der MRT werden fortlaufend entsprechende Geräte erneuert. Dies hat zur Folge, daß in geraumer Zeit eine an sich sehr teure Technologie der Veterinärmedizin zugänglich sein wird. Aus den gleichen Gründen ist im Kleintierbereich der Standard bei der Diagnostik und Therapie in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Damit ergibt sich die Schlußfolgerung, daß bildgebende Verfahren aus der Humanmedizin an Bedeutung in der veterinärmedizinischen Ausbildung gewinnen. Um solche Aufnahmen interpretieren zu können, sind für Tierärzte solide Kenntnisse der zweidimensionalen Anatomie unbedingt erforderlich. Bei CT- oder MRT-Aufnahmen muß sich der Radiologe mit detaillierten anatomischen Schnitten, anstelle zweidimensionaler Schattenaufnahmen in der konventionellen Radiologie, auseinandersetzen. Vor allem die Kenntnis der topographischen und funktionellen Anatomie dient als Grundlage zur Erkennung struktureller Einzelheiten. Die vorliegende Arbeit wird den wachsenden Bedürfnissen auf diesem Forschungsgebiet gerecht, speziell mit detaillierten Schnittpräparaten der Anatomie der Katze im direkten Vergleich mit entsprechenden MRT- Aufnahmen.

Fünf erwachsene Katzen unterschiedlichen Alters und Geschlechts wurden mit einem „Siemens Magnetom GBS II“ in der Radiologischen Abteilung des Universitätsklinikums „Benjamin Franklin“ der Freien Universität Berlin untersucht. Die Katzen wurden liegend, in ventraler oder dorsaler Lage, untersucht. Zur Vermeidung von Bewegungsartefakten wurden die Tiere mit einer intramuskulären Ketamin-Rompun-Injektion anästhesiert. Es wurden MRT-Aufnahmen in horizontaler, transversaler und saggittaler Schichtorientierung, bei einer Schichtdicke von 3 mm, angefertigt. Dabei ergaben T1-gewichtete Aufnahmen die besten Ergebnisse für die anatomische Beschreibung. Zum Vergleich wurden mit einer Bandsäge Tiefgefrierschnitte von 5 anderen Katzen in der entsprechenden Schichtorientierung mit jeweils 0,5-1 cm Abstand angefertigt und sofort fotografiert. Anatomische Strukturen auf den MRT-Aufnahmen und den Tiefgefrierschnitten sind mit Linien markiert und entsprechend der

Nomina anatomica veterinaria bezeichnet worden. Auf den MRT-Aufnahmen und den Tiefgefrierschnitten sind deutlich die Organe des Abdomens und die großen Blutgefäße dargestellt. Durch die Nähe zum Herzen und die Atmungsbewegungen des Zwerchfells kommt es im oberen Abdominalbereich zu Bewegungsartefakten. Die Darstellung des Verlaufs der großen Blutgefäße gelingt durch 3D-Rekonstruktion einer Reihe von MRT-Bildern. Leber, Milz und die Nieren zeigten einen guten Kontrast zwischen Parenchym und Blutgefäßen bzw. zwischen Mark und Rinde. Auch der Verdauungstrakt zeigte ein gutes Kontrastverhalten, vor allem zwischen Darmwand, umgebenden Fettgewebe und Darminhalt. Interessante anatomische Strukturen konnten an der lebenden Katze bildlich erfaßt werden, wie die oft kontrovers diskutierte "Impressio renalis".

Das große Auflösungsvermögen des MRT macht es damit zu einem hoch sensitiven und spezifischen Verfahren zur Aufdeckung anatomischer Strukturen der Katze.

6. Summary

Magnetic Resonance Imaging of the Abdomen of the Cat

Today, modern imaging procedures complete the studies of the body with scalpel and tweezers. By this development a lot of new opportunities both in diagnostic and in therapeutic practice came up. The non-invasive techniques are rapidly accepted in medicine and veterinary medicine. Indeed, the veterinary medicine profits from the rapid development in human radiology. Due to the permanent improvement in the MRI, equipments are often renewed. Therefore a quite expensive technology may be available to the veterinary medicine in close future. Thus the standard in the field of research as well as diagnosis and therapy of small animals has clearly risen. As a consequence, modern imaging methods are also a part in veterinary education. In order to interpret the images obtained, solid knowledge of the two-dimensional normal anatomy becomes very important for veterinarians. On CT and MR pictures, the radiologist is confronted with detailed anatomical sections instead of two-dimensional shadow pictures as on conventional radiographs. These new developments have caused difficulties when evaluating CT and MR images. The knowledge of the normal topographical and applied anatomy has to serve as a basis for recognizing structural details.

This paper contributes to the great need for more investigations in this field, particularly on the detailed cross-sectional anatomy of the cat as seen on MR images.

Five adult cats of different age and sex were imaged with a „Siemens Magnetom GBS II“ with a commercial extremities coil in the Department of Radiology of the "Universitätsklinikum Benjamin Franklin der Freien Universität Berlin". The cats were placed in a ventral or dorsal recumbent position. To prevent motion artefacts the animals were anaesthetized by means of an intramuscularly administered Ketamin-Rompun injection. The MRI-studies were performed using horizontal, transverse and sagittal scanning with a slice thickness of 3 mm. T1-weighted sequences gave the best results for anatomical description. For comparison, frozen sections of other 5 cats in corresponding layer orientations were made in approximately 0,5-1 cm intervals with a bandsaw and immediately photographed. Anatomical structures on MR images and frozen slices were marked by lines which were labeled according the *Nomina anatomica veterinaria*.

MR pictures and frozen slices clearly delineated the abdominal organs and large blood vessels. Motion artefacts appear more in the upper abdominal region due to the proximity of

the heart and respiratory motion of the diaphragm. 3-D-reconstruction of a series of images enables the presentation of the course of the big blood vessels in the abdomen. In general T1-weighted sequences showed clearly delineated structures. The liver, spleen and kidneys were visualized with good contrast of the parenchyma and blood vessels and medulla/cortex respectively. The alimentary canal was delineated also well with good contrast between the intestine wall, surrounding fat and the intestinal content. Interesting anatomical structures in the living cat could be presented like the often controversially discussed "Impressio renalis". The inherent high level of soft tissue contrast makes MRI a highly sensitive and specific modality for detection of normal anatomical structures of the cat.

7. Schrifttumsverzeichnis

ASSHEUER J. und M. SAGER (1997):

MRI and CT Atlas of the Dog.

Blackwell Science, Berlin, Vienna, Oxford

BARR, F. (1992):

Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze.

Gustav Fischer, Stuttgart, Jena

BERG, R. (1995):

Angewandte und topographische Anatomie der Haustiere. 4. Aufl.

Gustav Fischer, Stuttgart, Jena

BLOCH, F., W. HANSEN und M. PACKARD (1946):

Nuclear induction.

Phys. Rev. 69, 127-136

BRAITINGER, S. und J. PAHNKE (1995):

MR-Atlas der HNO-Anatomie.

Schattauer, Stuttgart, New York

BRANT-ZAWADZKI, M. (1988):

MR imaging of the brain.

Rad. 166, 1-10

BRAWNER, W. R. und G. B. DANIEL (1993):

Nuclear imaging.

Vet. Clin. North. Am. Small. Anim. Pract. 23 Nr. 2, 379-98

BURK, R.L. und N. ACKERMANN (1991):

Lehrbuch und Atlas der Kleintierradiologie.

Gustav Fischer, Stuttgart, Jena

CALIA, C. M., S. E. KIRSCHNER, K. E. BAER und J. STEFANICCI (1994):

The use of computed tomography scan for the evaluation of orbital disease in cats and dogs.

Vet. Comp. Opht. 4, 24-30

CRASS, J. R., R. L. GENOVESE, J. K. RENDER und E. M. BELLON (1992):

Magnetic resonance, ultrasound and histopathologic correlation of acute and healing equine tendon injuries.

Vet. Rad. a. Ultras. 33, 206-216

DAMADIAN, R. (1971):

Tumor detection by nuclear magnetic resonance.

Science. Mar 19, 1151-3

DAMADIAN, R., L. MINKOFF, M. GOLDSMITH und M. STANFORD (1976):

Field focusing nuclear magnetic resonance (FONAR): visualization of a tumor in a live animal.

Science. Dec 24, 1430-32

DAVIES, A. S., K. L. GARDEN, M. J. YOUNG und C. S. REID (1987):

An Atlas of x-ray tomographical anatomy of the sheep.

Department of Scientific and Industrial Research. Wellington, New Zealand

DE GREEST, A. und L. LEONHARDI (1968):

Gastric torsion. A case report.

Vet. Milano. 91, 205-210

DENNIS, R. (1993):

Die Kernspinresonanztomographie und ihre Anwendung in der Veterinärmedizin.

Vet. Intern. 2, 3-11

DUGAN, S. J., P. SCHWARZ, S. M. ROBERTS und S. V. CHING (1993):

Primary optic nerve meningioma and pulmonary metastasis in a dog.

J. Am. Anim. Hosp. Assoc. 29, 11-16

FEENEY, D. A., T. F. FLETCHER und R. M. HARDY (1991):

Atlas of correlative imaging anatomy of the normal dog, ultrasound and computed Tomography.

Saunders, Philadelphia

FIELD, H. E. und M. E. TAYLOR (1979):

An atlas of cat anatomy. 2nd. ed.

The University Press, Chicago

FIKE, J. R., R. A. LECOUEUR und C. E. CANN (1981):

Anatomy of the canine brain using high resolution computed tomography.

Vet. Rad. 22, 236-43

FREWEIN, J. und B. VOLLMERHAUS (1994):

Anatomie von Hund und Katze.

Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien, Oxford

HARTUNG, K. (1998):

Persönliche Mitteilung

HUDSON, L. C. und W. P. HAMILTON (1993):

Atlas of feline anatomy for veterinarians.

Saunders, Philadelphia

KARKKAINEN, M. und L. U. PUNTO (1993):

Magnetresonanztomographie in der Diagnose von Hirntumoren beim Hund.

Kleintierpraxis. 38, 65-66; 68-70

KAUFMANN, L., L. E. CROOKS und A. R. MARGUILIS (1984):

NMR-Tomographie in der Medizin.

Schattauer, Stuttgart, New York

KEALY, J. (1991):

Röntgendiagnostik bei Hund und Katze. 2. Aufl.

Enke, Stuttgart

KLESTY, C. (1984):

Lage und Lageveränderungen der Bauchhöhlenorgane der Katze bei
verschiedenen Körperstellungen im Hinblick auf die klinische Untersuchung.

Vet. med. Diss. Gießen

KOCH, T. und R. BERG (1990):

Lehrbuch der Veterinär- Anatomie. 4. Aufl.

Bd 2. Eingeweidelehre.

Gustav Fischer, Stuttgart, Jena

KOCH, T. und R. BERG (1993):

Lehrbuch der Veterinär- Anatomie. 5. Aufl.

Bd 3. Die großen Versorgungs- und Steuerungssysteme.

Gustav Fischer, Stuttgart, Jena

KOMAREK, J. V. (1987):

Die Anwendung der Real-time-Sonographie in der Kleintierpraxis.

Kleintierpraxis. 32, Nr. 5, 229-236

KÖNIG, H. E. (1992):

Anatomie der Katze.

Gustav Fischer, Stuttgart, Jena

KRAFT, S., P. GAVIN, L. WENDLING und V. REDDY (1989):

Canine brain anatomy on magnetic resonance images.

Vet. Rad. 30, 147-158

KRAFT, W. (1993):

Tierärztliche Endoskopie.

Schattauer, Stuttgart

KRAFT, W. und U. M. DÜRR (1995):

Katzenkrankheiten. 4. Aufl.

M. & H. Schaper, Alfeld

KRESTEL, E. (1988):

Bildgebende Systeme für die medizinische Diagnostik.

Siemens Aktiengesellschaft, Berlin, Erlangen

LANG, J., P. HUBER und M. VANDEVELDE (1988):

Erfahrungen mit der Computertomographie in der Kleintierneurologie.

Schweiz. Arch. Tierheilk. 130, 167-83

LAUTERBUR, P. C. (1973):

Image formation by induced local interactions: Examples employing nuclear

Magnetic resonance.

Nature. 242, 190-191

LISSNER, J. und M. SEIDERER (1990):

Klinische Kernspintomographie.

Enke, Stuttgart

LODEN, D., F. NORTEN, L. H. WOLFLA und R. B. FORD (1983):

Diagnosis of Intracranial Lesions by Computerized Tomography in Three Dogs.

J. Am. Vet. Med. Assoc. 19, 303-8

MARKMILLER, U. (1991):

Kernspintomographische Darstellung der Anatomie der Ratte
und Ausblick für den Einsatz der Kernspintomographie in der Tiermedizin.
Vet. Med. Diss. München

MARTIN, P. (1923):

Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Bd 4.
Schickardt & Ebner, Stuttgart

MC CLURE, R., M. J. DALLMAN und P. D. GARRET (1973):

Cat Anatomy an atlas, text and dissection guide.
Lea & Febiger, Philadelphia

MOORE, M. P., P. R. GAVIN, S. L. KRAFT, C. E. DEHAAN, C. W. LEATHERS und R. V.

DORN (1991):
MR, CT and clinical features from four dogs with nasal tumors involving the
rostral cerebrum.
Vet. Rad. 32, 19-25

MÜNZER, B. (1984):

Röntgendiagnostik des Katzenabdomens.
Kleintierpraxis. 29, 399-402

NOMINA ANATOMICA VETERINARIA. 4nd. ed.

NOMINA HISTOLOGICA. rev. 2nd. ed. (1994):

Internat. Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature, Zürich,
Ithaca, New York

NICKEL, R., A. SCHUMMER und E. SEIFERLE (1995):

Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. 7. Aufl.
Bd 2. Eingeweide.
Blackwell Wissenschafts- Verlag, Berlin, Wien, Oxford

NÜSSLIN, F. und H. WENDHAUSEN (1986):

NMR in der Medizin, Physik, Technik, Biologie.

Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore

OWENS, J. M. (1989):

Röntgenbildinterpretation für den Kleintierpraktiker.

Enke, Stuttgart

PARK, R., T. NELSON und J. HOOPES (1987):

Magnetic resonance imaging of the normal equine digit
and metacarpophalangeal joint.

Vet. Rad. 28, 105-116

PHILIPS MEDICAL SYSTEMS (1989):

Prinzipien der MR-Tomographie.

Philips, Eindhoven

POTT, G. (1949):

Die arterielle Blutversorgung des Magendarmkanals, seiner Anhangsdrüsen
(Leber, Pankreas) und der Milz bei der Katze.

Vet. Med. Diss. Hannover

PURCELL, E., H. TORREY und R. POWEL (1946):

Resonance absorption by nuclear magnetic moments in a solid.

Phys. Rev. 69, 37-43

RABI, I., J.R. ZACHARIAS, S. MILLMANN und P. KUSCH (1992):

Milstones in magnetic resonance: a new method of measuring nuclear
magnetic moment. 1938 (classical article)

J. Magn. Reson. Imaging. Mar-Apr, 131-3

REISER, M. und W. SEMMLER (1992):

Magnetresonanztomographie

Springer, Berlin, Heidelberg, New York

RINCK, P., S. B. PETERSEN und R. N. MÜLLER (1986):

Magnetresonanz- Imaging und Spektroskopie in der Medizin.

Georg Thieme, Stuttgart und New York

ROTH, K. (1984):

NMR-Tomographie und –Spektroskopie in der Medizin.

Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo

SALVATORE, M., R. LORIZIO, V. BARILE, A. CORONA und A. POTENA (1987):

Nuclear magnetic resonance: theoretical principles and first results in
the neuroradiological anatomy of the dog.

Acta med. vet. (Napoli). 33, 169-178

SCHMIDT, S. (1987):

Zur Ultraschalldiagnostik der Leber bei Hund und Katze.

Tierärztl. Prax. 15, 57-62

SCHMIDT, V. und M. C. HORZINEK (1992):

Krankheiten der Katze.

Gustav Fischer, Stuttgart, Jena, New York

SCHOLZ, S. (1992):

Sonographisch-anatomische Darstellung der Bauchhöhlenorgane
(Leber, Gallenblase, Milz und Nieren) der Katze.

Vet. Med. Diss. Hannover

SCHÖRNER, W. (1988):

Kontrastmittel in der Kernspintomographie.

Schering, Berlin

SCHWARTZ-PORSCHKE, D. (1992):

Riechschleimhauttumor (Ästhesioneuroepitheliom) mit ZNS-Einbruch beim Hund
- eine Fallstudie mit kernspintomographischer Tumordarstellung.
Kleintierpraxis. 10, 679-686

STEWART, W. A., J. PARENT, R. A. TOWNER und H. DOBSON (1992):

The use of magnetic resonance imaging in the diagnosis of neurological disease.
Can. Vet. J. 33, 585-590

THIET, W. und U. BAULAIN (1992):

Technik und Anwendungsmöglichkeiten der Kernspintomographie beim Hund.
Kleintierpraxis. 37, 695-700

TURNER, T. (1968):

Gastric torsion in a cat.
J. Sm. Anim. Pract. 9, 231

VOGL, T.J. und J. BALZER (1991):

Kernspintomographie der Kopf-Hals-Region.
Springer, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokio

WENZ, W, (1988):

Checkliste Bildgebende Verfahren.
Georg Thieme, Stuttgart und New York

WIETHÖLTER, G. (1965):

Anatomie der Bauch- und Beckenorgane von Hund und Katze im Röntgenbild.
Vet. med. Diss. Leipzig

Danksagung

Meinem Lehrer und Doktorvater Professor Dr. R. Berg zolle ich meinen besonderen Dank für die Überlassung des Themas der Dissertation, seine stets gewährte Unterstützung und seinen fachlichen wie auch oft menschlichen Rat.

Frau Dr. H. Hünigen gebührt große Anerkennung für die jederzeit gewährte fachliche und technische Hilfe und für die erteilten wertvollen Hinweise.

Besonderer Dank gilt Frau Dr. S. Wagner für die gewissenhafte und fachlich kompetente Unterstützung beim Erstellen MRT-Aufnahmen und für ihre stets gewährte Geduld und Freundlichkeit.

Bei Frau Dipl. Grafikerin G. Jahrmärker möchte ich mich recht herzlich für das sorgsame Anfertigen der Zeichnungen und für die vielen Ratschläge beim Gestalten der Dissertation bedanken. An dieser Stelle sei auch besonders der Tierarztpraxis Ulrich Mattke gedankt, welche bei der Unterbringung und Versorgung der Tiere behilflich war.

Auch danke den Präparatoren des Instituts für Veterinär-Anatomie, Herrn Dressel und Herrn Hofmann, für die praktische Unterstützung bei der Herstellung der Schnittpräparate.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Zoske von Schadt-Computertechnik für die große Hilfe bei der Auswahl und dem Einarbeiten der Hardware bedanken.

Schließlich sei an dieser Stelle den Familien Eckhard Wever aus Bietikow und Erwin Grandke aus Kleinow gedankt, welche mir freundlicher Weise ihre Hauskatzen zum Anfertigen der MRT-Aufnahmen zur Verfügung stellten.

Ein großes Dankeschön möchte ich auch meinen guten Freunden aus Varrel, Dr. Birgit Schnurpel, Heike Strehmel, Dr. Cord Müller und Dr. Ralph Müller sagen, welche in einer schweren Zeit für mich immer ein gutes Wort und viel Verständnis hatten.

Auch möchte ich mich bei meinem Arbeitsgruppenleiter am MDC Berlin-Buch, Herrn Dr. A. Leutz, für die Hilfe und das Verständnis während der Abschlusarbeiten bedanken.

Nicht zuletzt gilt mein besonderer Dank Silke, Lisa, Susanne, Heiko und Andreas, die mich in der Zeit der Anfertigung der Arbeit unterstützt haben.

Lebenslauf

Hubertus Pietsch

geboren am 10.12.1967 in Görlitz

Eltern: Erwin Pietsch, Agraringenieur

Elfriede Pietsch, geb. Heyne, Veterinärtechnikerin

Schulbildung

1974-1984	Allgemeinbildende Polytechnische Oberschule Horka
1984-1986	Herbert-Balzer-Gymnasium, Niesky
27. Juni 1986	Abitur

Wehrdienst

1986-1989	3-jähriger Wehrdienst bei der NVA
-----------	-----------------------------------

Beruflicher Werdegang

1989	Beginn des Studiums der Veterinärmedizin an der Humboldt-Universität zu Berlin
Juni 1993	Beginn der vorliegenden Dissertation
23. März 1995	Tierärztliche Prüfung
8. Juni 1995	Approbation als Tierarzt
von Juli 1995 bis	
Dezember 1996	Assistentztierarzt in der Großtierpraxis Dres. Cord und Ralph Müller in Varrel, Landkreis Diepholz
seit September 1997	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC) Berlin-Buch in der Forschungsgruppe „Tumorentwicklung und -differenzierung“ von Dr. Achim Leutz