

Miroslav Heřman
a kolektiv

Základy radiologie



Miroslav Heřman
a kolektiv

Základy radiologie

Miroslav Heřman
a kolektiv

Základy radiologie



Univerzita Palackého v Olomouci

Recenzenti:

prof. MUDr. Vlastimil Válek, CSc., MBA, EBIR

prof. MUDr. Jiří Neuwirth, CSc., MBA

Kolektiv autorů:

doc. MUDr. Stanislav Buřval, Ph.D.

doc. MUDr. Marie Černá, Ph.D.

MUDr. Filip Čtvrtlík, Ph.D.

MUDr. Radka Dusíková

MUDr. Martin Hazlinger

prof. MUDr. Miroslav Heřman, Ph.D.

prof. MUDr. Martin Köcher, Ph.D.

MUDr. Kamila Michálková

MUDr. Kateřina Spáčilová

MUDr. Zbyněk Tüdös, Ph.D.

MUDr. Lucia Veverková

doc. MUDr. Jaroslav Vomáčka, Ph.D., MBA

Neoprávněné užití díla je porušením autorských práv a může zakládat občanskoprávní, správněprávní, popřípadě trestněprávní odpovědnost.

1. vydání

© Miroslav Heřman a kolektiv, 2014

© Univerzita Palackého v Olomouci, 2014

ISBN 978-80-244-2901-4 (tištěná verze)

ISBN 978-80-244-4333-1 (e-kniha)

Obsah

Seznam zkratk	10	4.3	Obecná symptomatologie patologických změn	43
1 Úvod.....	11	4.3.1	Příznaky postižení plic.....	43
1.1 Vznik a vlastnosti rentgenového záření.....	11	4.3.2	Změny hilů a cévní kresby.....	48
1.2 Biologické účinky rentgenového záření.....	11	4.3.3	Změny bránice a bráničních úhlů.....	49
1.3 Hlavní zásady radiační ochrany pro lékaře-„neradiology“	11	4.3.4	Změny srdce a mediastina	49
1.4 Přehled dávek při radiologických vyšetřeních...	12	4.3.5	Změny na skeletu hrudníku	52
1.5 Vyžádání radiologického vyšetření	13	4.3.6	Hlavní rozdíly v obrazu na snímcích zhotovených vestoje a vleže	52
1.6 Popis radiologických vyšetření	13	4.4	Hodnocení a popis vyšetření.....	53
2 Zobrazovací metody.....	14	4.4.1	Prosté snímky.....	53
2.1 Snímkování.....	14	4.4.2	CT	53
2.2 Skioskopie	15	4.5	Záněty plic	54
2.3 Tomografie, tomosyntéza	16	4.5.1	Pneumonie, bronchopneumonie	54
2.4 Angiografie (AG).....	16	4.5.2	Atypické pneumonie, mykotická a parazitární onemocnění plic	55
2.5 Ultrasonografie (US).....	17	4.5.3	Komplikace plicních zánětů	56
2.6 Výpočetní tomografie (CT).....	21	4.5.4	Plicní tuberkulóza.....	58
2.7 Magnetická rezonance (MR).....	25	4.5.5	Chronická obstrukční plicní choroba ...	59
2.7.1 Zobrazování magnetickou rezonancí (MRI).....	26	4.6	Difuzní intersticiální plicní onemocnění	60
2.7.2 Angiografie magnetickou rezonancí (MRA)	29	4.6.1	Pneumokoniózy	60
2.7.3 Spektroskopie magnetickou rezonancí (MRS)	30	4.6.2	Sarkoidóza	61
2.7.4 Funkční magnetická rezonance (fMRI)	30	4.6.3	Exogenní alergická alveolitida (EAA) ...	62
2.7.5 Další typy vyšetření pomocí MR	31	4.6.4	Plicní fibróza.....	62
2.8 Archivace obrazové dokumentace – PACS	32	4.7	Nádory plic a průdušek.....	64
3 Kontrastní látky.....	33	4.7.1	Bronchogenní karcinom	64
3.1 Pozitivní KL.....	33	4.7.2	Metastázy do plic	65
3.1.1 Baryové KL	33	4.7.3	Intratorakální lymfomy a leukemie.....	67
3.1.2 Jodové KL.....	33	4.7.4	Benigní plicní tumory	68
3.2 Negativní KL	35	4.8	Poruchy plicní cirkulace	68
3.3 Dvojkontrastní vyšetření	35	4.8.1	Vrozené anomálie	68
3.4 Kontrastní látky pro ultrasonografii.....	35	4.8.2	Plicní embolie.....	68
3.5 Kontrastní látky pro magnetickou rezonanci	36	4.8.3	Prekapilární plicní hypertenze.....	68
4 Hrudník.....	37	4.8.4	Edém plic (postkapilární plicní hypertenze).....	69
4.1 Radiologická anatomie.....	37	4.9	Srdce.....	71
4.2 Zobrazovací metody.....	40	4.9.1	Vrozené vady	71
4.2.1 Prostý snímek hrudníku	40	4.9.2	Srdeční selhání	71
4.2.2 Výpočetní tomografie (CT).....	40	4.9.3	Onemocnění chlopní	71
4.2.3 Angiografické metody.....	42	4.9.4	Bakteriální endokarditida.....	71
4.2.4 Ultrasonografie	42	4.9.5	Myxom a jiné intrakardiální expanze ...	71
4.2.5 Magnetická rezonance	42	4.9.6	Ischemická choroba srdeční, infarkt myokardu.....	71
4.2.6 Radioizotopové metody	43	4.9.7	Hypertenze	72
4.2.7 Metody intervenční radiologie.....	43	4.9.8	Onemocnění perikardu.....	72
4.2.8 Další zobrazovací metody.....	43	4.10	Nemoci mediastina.....	72
		4.10.1	Expanze v mediastinu	72
		4.10.2	Medistinitida	73
		4.11	Nemoci pleury.....	73
		4.11.1	Pleurální tekutina	73
		4.11.2	Pneumotorax.....	75

4.11.3	Zesílení pleury.....	75	6.2.2	Ultrasonografie	117
4.11.4	Nádory pleury	75	6.2.3	Výpočetní tomografie (CT)	118
4.12	Úrazy hrudníku.....	76	6.2.4	Magnetická rezonance	120
			6.2.5	Metody intervenční radiologie	120
			6.2.6	Prostý snímek.....	121
5	Muskuloskeletální systém	79	6.3	Obecná symptomatologie patologických změn trávicí trubice při vyšetření s KL.....	121
5.1	Radiologická anatomie.....	79	6.4	Hodnocení a popis vyšetření.....	122
5.2	Zobrazovací metody	82	6.4.1	Vyšetření trávicí trubice s kontrastní náplní.....	122
5.2.1	Prosté snímky.....	82	6.4.2	Ultrasonografie	123
5.2.2	Výpočetní tomografie (CT)	82	6.4.3	CT/MR.....	123
5.2.3	Ultrasonografie	82	6.5	Onemocnění hltanu a jícnu.....	123
5.2.4	Magnetická rezonance	83	6.5.1	Záněty jícnu.....	123
5.2.5	Radioizotopové metody.....	83	6.5.2	Retrofaryngeální absces	124
5.2.6	Arthrografie	83	6.5.3	Kolagenózy jícnu.....	124
5.2.7	Denzitometrie	83	6.5.4	Nádory hypofaryngu	124
5.2.8	Metody intervenční radiologie.....	83	6.5.5	Nádory jícnu.....	124
5.3	Obecná symptomatologie patologických změn.....	83	6.5.6	Divertikly jícnu	125
5.3.1	Příznaky postižení skeletu	83	6.5.7	Achalázie kardie.....	126
5.3.2	Příznaky postižení měkkých tkání	85	6.5.8	Gastroezofageální varixy.....	126
5.4	Hodnocení a popis vyšetření.....	87	6.5.9	Perforace jícnu	126
5.4.1	Prosté snímky.....	87	6.6	Onemocnění žaludku a duodena	126
5.4.2	Ostatní zobrazovací metody.....	87	6.6.1	Zánětlivá onemocnění žaludku a dvanáctníku	126
5.5	Úrazy	87	6.6.2	Nádory žaludku a duodena	128
5.5.1	Kosti.....	87	6.6.3	Hiátové hernie.....	129
5.5.2	Klouby	91	6.6.4	Tupé poranění duodena.....	130
5.5.3	Měkké tkáně kloubů.....	92	6.6.5	Duodenální divertikly.....	130
5.5.4	Svaly a šlachy	94	6.7	Onemocnění tenkého střeva	131
5.6	Degenerativní onemocnění kloubů – artrózy.....	94	6.7.1	Zánětlivá onemocnění tenkého střeva	131
5.7	Záněty kostí a kloubů.....	95	6.7.2	Malabsorpční syndrom.....	132
5.7.1	Záněty kostí – osteomyelitidy	95	6.7.3	Nádory tenkého střeva.....	132
5.7.2	Záněty kloubů – artritidy	97	6.7.4	Meckelův divertikl.....	132
5.8	Nádory kostí.....	100	6.8	Onemocnění tračníku.....	132
5.8.1	Osteogenní nádory	102	6.8.1	Zánětlivá onemocnění tračníku.....	132
5.8.2	Chondrogenní nádory	102	6.8.2	Nádory tlustého střeva	134
5.8.3	Osteoklastom (obrovskobuněčný nádor)	103	6.8.3	Divertikulóza tračníku	136
5.8.4	Dřeňové nádory	104	6.8.4	Anorektální dysfunkce.....	137
5.8.5	Cévní nádory.....	104	6.9	Hodnocení pooperačních stavů zažívací trubice	138
5.8.6	Sekundární kostní nádory (metastázy)	104			
5.8.7	Pseudotumory kostí.....	107			
5.9	Nádory měkkých tkání	108			
5.9.1	Benigní nádory.....	108			
5.9.2	Maligní nádory.....	108			
5.10	Jiné osteopatie	109			
5.10.1	Poruchy cirkulace	109			
5.10.2	Metabolické a hormonální osteopatie	109			
5.10.3	Nezařaditelná kostní onemocnění.....	111			
6	Gastrointestinální trakt (GIT).....	112	7	Játra, žlučové cesty, pankreas, slezina	139
6.1	Radiologická anatomie.....	112	7.1	Játra.....	139
6.2	Zobrazovací metody	115	7.1.1	Zobrazovací metody.....	139
6.2.1	Vyšetření s kontrastní náplní	116	7.1.2	Jaterní steatóza	140
			7.1.3	Jaterní cirhóza	140
			7.1.4	Portální hypertenze	141
			7.1.5	Jaterní cysty	141
			7.1.6	Absces jater.....	141
			7.1.7	Tumory jater	142
			7.1.8	Úrazy	143
			7.2	Žlučník a žlučové cesty	145
			7.2.1	Zobrazovací metody.....	145

7.2.2	Cholecystolitiáza.....	146	10 Neuroradiologie – mozek, lebka 176
7.2.3	Choledocholitiáza.....	147	10.1 Radiologická anatomie.....
7.2.4	Cholecystitida.....	147	176
7.2.5	Cholangoitida.....	148	10.2 Zobrazovací metody.....
7.2.6	Nádory.....	148	178
7.2.7	Ikterus.....	148	10.2.1 Výpočetní tomografie.....
7.2.8	Pooperační komplikace.....	149	179
7.3	Pankreas.....	149	10.2.2 Magnetická rezonance.....
7.3.1	Zobrazovací metody.....	149	179
7.3.2	Akutní pankreatitida.....	149	10.2.3 Angiografie.....
7.3.3	Chronická pankreatitida.....	150	179
7.3.4	Tumory pankreatu.....	150	10.2.4 Ultrasonografie.....
7.4	Slezina.....	151	179
7.4.1	Zobrazovací metody.....	151	10.2.5 Prostý snímek.....
7.4.2	Splenomegalie.....	151	179
7.4.3	Expanze.....	151	10.3 Obecná symptomatologie patologických
7.4.4	Úrazy.....	152	změn.....
8	Náhlé příhody břšní 153		179
8.1	Úrazové náhlé příhody břšní.....	153	10.3.1 Příznaky postižení mozku.....
8.2	Neúrazové náhlé příhody břšní.....	154	179
8.2.1	Zánětlivé náhlé příhody břšní.....	154	10.3.2 Příznaky postižení prostorů
8.2.2	Ileózní stavy.....	155	vyplněných likvorem.....
8.2.3	Krvácení.....	158	180
9	Uropoetický systém, pohlavní orgány		10.3.3 Příznaky postižení mozkových
	u mužů, retroperitoneum..... 160		obalů.....
9.1	Radiologická anatomie.....	160	182
9.2	Zobrazovací metody.....	162	10.3.4 Příznaky postižení cév.....
9.2.1	Ultrasonografie.....	162	182
9.2.2	Výpočetní tomografie.....	163	10.4 Hodnocení a popis vyšetření.....
9.2.3	Prostý snímek.....	163	182
9.2.4	Vylučovací urografie.....	163	10.5 Vrozené variety a anomálie.....
9.2.5	Mikční cystoureografie.....	163	184
9.2.6	Digitální subtrakční angiografie,		10.6 Trauma hlavy a mozku.....
	intervenční radiologie.....	163	184
9.2.8	Magnetická rezonance.....	163	10.6.1 Poranění skeletu.....
9.3	Hodnocení vyšetření.....	163	184
9.4	Kongenitální anomálie a variace.....	164	10.6.2 Poranění mozku.....
9.5	Získané změny uložení ledvin.....	165	185
9.6	Urolitiáza.....	166	10.6.3 Extracerebrální traumatická
9.7	Obstrukční uropatie.....	166	krvácení.....
9.8	Expanzivní procesy ledvin.....	167	186
9.9	Nádory dutého systém ledvin, močovodů		10.6.4 Jiné traumatické intrakraniální
	a močového měchýře.....	170	změny.....
9.10	Akutní zánětlivá onemocnění ledvin.....	170	188
9.11	Chronická zánětlivá onemocnění ledvin		10.7 Cévní mozkové příhody (CMP).....
	a vývodných močových cest.....	171	188
9.12	Traumata vylučovacího ústrojí.....	172	10.7.1 Ischemické CMP.....
9.13	Renovaskulární hypertenze.....	172	188
9.14	Transplantovaná ledvina.....	173	10.7.2 Hemoragické CMP.....
9.15	Onemocnění prostaty.....	173	190
9.16	Onemocnění varlete a nadvarlete.....	173	10.8 Nádory.....
9.17	Onemocnění nadledvin.....	174	191
9.18	Další onemocnění retroperitonea.....	175	10.9 Záněty.....
			194
			10.10 Onemocnění bílé hmoty.....
			195
			10.11 Onemocnění mozkových cév.....
			196
			10.12 Degenerativní onemocnění CNS.....
			198
			11 Neuroradiologie – páteř, mícha..... 199
			11.1 Radiologická anatomie.....
			199
			11.2 Zobrazovací metody.....
			201
			11.2.1 Prostý snímek.....
			201
			11.2.2 Výpočetní tomografie.....
			201
			11.2.3 Magnetická rezonance.....
			202
			11.3 Obecná symptomatologie patologických
			změn.....
			202
			11.3.1 Příznaky postižení skeletu.....
			202
			11.3.2 Příznaky postižení
			meziobratlových plotének.....
			202
			11.3.3 Příznaky postižení páteřního kanálu
			a jeho obsahu.....
			205
			11.4 Hodnocení a popis vyšetření.....
			205
			11.5 Vrozené variety a anomálie.....
			205
			11.6 Trauma páteře a míchy.....
			205
			11.7 Nádory.....
			208
			11.8 Degenerativní onemocnění.....
			210
			11.9 Zánětlivé onemocnění.....
			213

12 Radiodiagnostika hlavy a krku.....	215
12.1 Radiologická anatomie	215
12.2 Zobrazovací metody.....	218
12.2.1 Ultrasonografie	218
12.2.2 Výpočetní tomografie.....	218
12.2.3 Magnetická rezonance	219
12.2.4 Prostý snímek.....	219
12.2.5 Kontrastní vyšetření	219
12.2.6 Intervenční metody	219
12.2.7 Metody nukleární medicíny	219
12.3 Hodnocení nálezů	219
12.4 Štítná žláza, příštítná tělíska	220
12.5 Uzlinové syndromy.....	221
12.6 Neuzlinové expanze krku	221
12.7 Nádory maxilofaciální oblasti.....	221
12.8 Larynx, farynx.....	222
12.9 Paranasální dutiny.....	222
12.10 Spánková kost	224
12.11 Velké slinné žlázy.....	225
12.12 Orbyty.....	227
12.13 Úrazy obličeje.....	228
13 Zobrazování prsu.....	230
13.1 Radiologická anatomie.....	230
13.2 Zobrazovací metody.....	231
13.2.1 Mamografie (MG)	231
13.2.2 Ultrasonografie (US).....	231
13.2.3 Magnetická rezonance	231
13.2.4 Duktografie	232
13.2.5 Radioizotopové metody.....	232
13.2.6 Biopické metody.....	232
13.3 Hodnocení radiologického vyšetření.....	234
13.4 Symptomatologie chorobných změn.....	234
13.5 Zánětlivá onemocnění prsu.....	235
13.6 Benigní ložiskové změny prsu.....	236
13.7 Maligntní nádory prsu.....	236
14 Radiodiagnostika v gynekologii a porodnictví.....	239
14.1 Radiologická anatomie.....	239
14.2 Zobrazovací metody.....	240
14.3 Hodnocení a popis vyšetření.....	240
14.4 Zobrazování v průběhu těhotenství	241
14.5 Zobrazování při neplodnosti.....	242
14.6 Záněty dělohy a adnex, endometriosis	243
14.7 Cystické a nádorové expanze dělohy a adnex	243
15 Arteriální systém.....	245
15.1 Radiologická anatomie.....	245
15.2 Zobrazovací metody.....	248
15.2.1 Digitální subtrakční angiografie (DSA)	248
15.2.2 Dopplerovská ultrasonografie	250
15.2.3 CT angiografie (CTA)	251
15.2.4 MR angiografie (MRA).....	253
15.2.5 Prostý snímek.....	254
15.3 Obecná symptomatologie patologických změn.....	254
15.3.1 Patologické nálezy při arteriografii (DSA, CTA a MRA).....	254
15.3.2 Patologické nálezy při US	259
15.4 Hodnocení a popis vyšetření.....	259
15.5 Patologické stavy aortálního oblouku, tepen hlavy (mozku a obličeje) a krku.....	260
15.5.1 Patologické stavy aortálního oblouku	260
15.5.2 Patologické stavy tepen krku a obličeje	260
15.5.3 Patologické stavy intrakraniálního řečiště	260
15.5.4 Angiografický průkaz smrti mozku ...	261
15.6 Patologické stavy tepen horních končetin.....	261
15.7 Patologické stavy srdce a věnitých tepen	262
15.7.1 Patologické stavy srdce.....	262
15.7.2 Patologické stavy věnitých tepen	263
15.8 Patologické stavy hrudní aorty, tepen míchy a páteře.....	263
15.9 Patologické stavy tepen splanchnické oblasti... 263	263
15.10 Patologické stavy renálních tepen.....	263
15.11 Patologické stavy břišní aorty, pánevního řečiště a tepen dolních končetin.....	264
15.12 Patologické stavy plicního řečiště.....	265
16 Žilní systém	266
16.1 Radiologická anatomie.....	266
16.2 Zobrazovací metody.....	268
16.2.1 Dopplerovská ultrasonografie.....	268
16.2.2 Flebografie	268
16.2.3 CT flebografie a MR flebografie.....	269
16.2.4 Prostý snímek.....	270
16.3 Obecná symptomatologie patologických změn.....	270
16.3.1 Patologické nálezy při US.....	270
16.3.2 Patologické nálezy při flebografii.....	270
16.4 Hodnocení a popis vyšetření.....	271
16.5 Žilní trombóza	271
16.6 Uzávěr dutých žil	271
16.7 Vyšetření žilního systému horní končetiny před založením dialyzačního shuntu	271
16.8 Portální hypertenze	272
17 Diagnostika onemocnění lymfatického systému	273
17.1 Radiologická anatomie.....	273
17.2 Zobrazovací metody.....	274
17.2.1 Ultrasonografie	274
17.2.2 Výpočetní tomografie.....	274
17.2.3 Magnetická rezonance	274
17.2.4 Metody nukleární medicíny	274

17.2	Hodnocení nálezů	274	18.7	Perkutánní aspirace a drenáže kolekcí tekutin a abscesů	292
17.3	Lymfadenopatie	274	18.8	Radiofrekvenční termoablace	292
17.4	Lymfokéla	276	18.9	Intervence na žlučových cestách.....	293
18	Intervenční radiologie.....	277	18.9.1	Perkutánní transhepatická drenáž žlučových cest (PTD)	293
	Vaskulární intervence.....	277	18.9.2	Dilatace stenóz žlučových cest	293
18.1	Rekanalizační výkony.....	277	18.9.3	Perkutánní extrakce konkrementů ze žlučových cest	293
18.1.1	Perkutánní transluminální angioplastika (PTA).....	277	18.10	Intervence na GIT	293
18.1.2	Subintimální angioplastika	279	18.10.1	Dilatace stenóz GIT	293
18.1.3	Stenty v cévním řečišti	280	18.10.2	Paliativní léčba dysfagie stenty	294
18.1.4	Lokální trombolýza	282	18.10.3	Perkutánní gastrostomie.....	295
18.2	Rekonstrukční výkony	282	18.11	Perkutánní nefrostomie.....	295
18.2.1	Endovaskulární léčba arteriálních aneuryzmat, pseudoaneuryzmat a arteriovenózních píštělí stentgrafty ..	282	18.12	Intervence na dýchacích cestách	296
18.3	Transkatéetrové embolizační metody	283	19	Pediatrická radiologie.....	297
18.3.1	Chemoterapie a chemoembolizace jaterních metastáz.....	284	19.1	Respirační trakt.....	297
18.3.2	Předoperační embolizace portální žíly.....	285	19.1.1	Onemocnění plic	297
18.3.3	Zástava akutního krvácení do GIT.....	285	19.1.2	Onemocnění mediastina	298
18.3.4	Endovaskulární léčba hemobilie.....	287	19.1.3	Onemocnění srdce.....	298
18.3.5	Endovaskulární léčba traumatických postížení cévního řečiště.....	287	19.2	Gastrointestinální trakt	298
18.3.6	Sklerotizace periferních cévních malformací.....	287	19.2.1	Onemocnění gastrointestinálního traktu	299
18.3.7	Endovaskulární embolizační metody v neuroradiologii	288	19.3	Urogenitální trakt	302
18.4	Filtry dolní duté žíly	289	19.3.1	Onemocnění ledvin a vývodných močových cest	302
18.5	Transjugulární intrahepatický portosystémový shunt (TIPS)	290	19.4	Muskuloskeletální systém.....	304
18.6	Perkutánní biopsie.....	291	19.4.1	Onemocnění skeletu.....	304
			19.5	Neuroradiologie	306
			19.5.1	Onemocnění mozku.....	307
			19.5.2	Onemocnění páteře.....	308

Seznam zkratek

2D	dvojdímenzionální, dvojrozměrný	MR	magnetická rezonance
3D	trojdímenzionální, trojrozměrný	MRA	angiografie magnetickou rezonancí (magnetic resonance angiography)
a.	arteria	MRCPC	cholangiopankreatikografie magnetickou rezonancí
AAA	aneuryzma abdominální aorty	MRI	zobrazování magnetickou rezonancí (magnetic resonance imaging)
AG	angiografie	MRS	spektroskopie magnetickou rezonancí (magnetic resonance spectroscopy)
AP	antero-posterior, předozadní (projekce)	n.	nervus
APTT	test hemokoagulace (activated partial thromboplastin time)	NPB	náhlá příhoda břišní
A-V	arterio-venózní	PA	postero-anterior, zadopřední (projekce)
AVM	arteriovenózní malformace	PACS	systém pro archivaci a distribuci digitálních obrazů (picture archiving and communication systems)
comm.	communis	PC	typ sekvence pro nativní MRA (phase contrast)
CNS	centrální nervový systém	PET	pozitronová emisní tomografie
CRP	C-reaktivní protein	PND	paranasální dutiny
CT	výpočetní tomografie (computed tomography)	PNO	pneumotorax
CTA	CT angiografie	proc.	processus
d.	ductus	PTA	perkutánní transluminální angioplastika
DSA	digitální subtrakční angiografie	PTCA	perkutánní transluminální koronární angioplastika
DWI	difúzně-vážená sekvence MR (diffusion-weighted imaging)	PTC	perkutánní transhepatální cholangiografie
dx.	dexter, pravý	PTD	perkutánní transhepatální drenáž (žlučových cest)
ERCP	endoskopická retrográdní cholangiopankreatikografie	RFA	radiofrekvenční ablace
FLAIR	MR sekvence s potlačením signálu vody (fluid-attenuation inversion recovery)	sin.	sinister, levý
fMRI	funkční magnetická rezonance	SPECT	jednofotonová emisní výpočetní tomografie (single-photon emission computed tomography)
FNA	biopsie tenkou jehlou (fine needle aspiration)	STIR	MR sekvence s potlačením signálu tuku (short-tau inversion recovery)
GIT	gastrointestinální trakt	sup.	superior
HU	Hounsfieldova jednotka (Hounsfield unit)	Sv	sievert (mSv – milisievert)
i.v.	intravenózní	TIPS	transjugulární intrahepatický portosystémový shunt
inf.	inferior	TNM	stážovací systém tumorů
INR	výsledek Quickova testu (international normalized ratio)	TOF	typ sekvence pro nativní MRA (time-of-flight)
KL	kontrastní látka	tr.	truncus
KTI	kardio-torakální index	US	ultrasonografie
lat.	lateralis	v.	vena
m.	morbis	VU	vylučovací urografie
m.	musculus		
MDCT	multidetektorové CT (přesněji CT s více řadami detektorů)		
med.	medialis		
MG	mamografie		
MIP	typ rekonstrukce vrstevných obrazů (maximum intensity projection)		

1 Úvod

MIROSLAV HEŘMAN

Radiologie je klinický lékařský obor, jehož základním prvkem je zobrazovací činnost. Zobrazovací metody jsou využívány v diagnostice, za jejich kontroly jsou prováděny i terapeutické výkony.

Hlavním cílem výuky radiologie je především naučit studenta správně indikovat jednotlivá vyšetření a znát jejich kontraindikace. Měl by se také naučit hodnocení a popisy běžných typů vyšetření, které bude potřebovat v klinických oborech. Cesta k těmto cílům vede přes pochopení základních principů jednotlivých metod.

1.1 Vznik a vlastnosti rentgenového záření

Rentgenové záření je elektromagnetické vlnění o velmi krátké vlnové délce 10^{-8} – 10^{-12} m. V radiodiagnostice se používají vlnové délky 10^{-9} – 10^{-11} m.

Vlastnosti rentgenového záření: je neviditelné, šíří se přímočaře rychlostí světla, ve vakuu jej ubývá se čtvercem vzdálenosti. Prochází hmotou, v níž se částečně absorbuje a rozptyluje, přičemž množství absorbovaného a rozptýleného záření závisí na složení hmoty (jejím průměrném protonovém čísle, hustotě a tloušťce) a na kvalitě záření (jeho vlnové délce). V hmotě vyvolává ionizaci a excitaci atomů. Záření působí zčernání fotografického materiálu (tzv. fotochemický efekt), v luminoforech vznik viditelného světla (tzv. luminiscenční efekt) a excitaci některých látek, čehož je využíváno v digitální radiografii. Významné jsou biologické účinky ionizujícího záření.

Vznik záření: umělým zdrojem rentgenového záření v radiologii je *rentgenka* (obr. 1.1). Záření zde vzniká prudkým zabrzděním velmi rychle letících elektronů v hmotě o vysokém protonovém čísle (např. wolfram).

1.2 Biologické účinky rentgenového záření

Záření absorbované v organismu má negativní účinky, které jsou podmíněny především excitací a ionizací atomů hmoty. Na buněčné úrovni je nejvýznamnější poškození molekuly DNA. Na záření jsou nejcitlivější dělicí se buňky. Proto obzvláště zvažujeme indikaci snímků v oblasti pánve, břicha a všechny snímky u dětí.

Biologické účinky ionizujícího záření na organismus se rozdělují na *deterministické* a *stochastické*. Deterministické účinky jsou prahového typu – účinek se projeví až v případě, že dávka v tkáni nebo orgánu přesáhne určitou prahovou hodnotu. Příkladem může být akutní nemoc z ozáření nebo lokální účinky na kůži. V radiologii používáme nízké

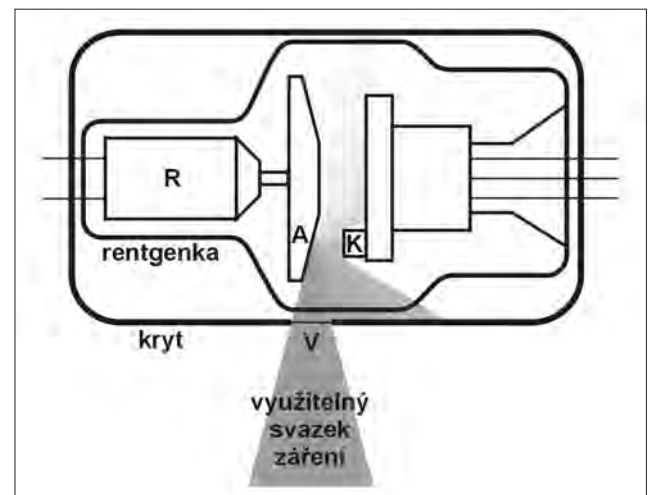
dávky záření, proto se zde projevují pouze účinky stochastické. Jsou bezprahové – každé, i velmi malé, dávkou odpovídá určitá pravděpodobnost jejich vzniku. Jde o účinky pozdní. Nejzávažnějšími jsou vznik zhoubných nádorů a genetických změn.

Cílem ochrany před ionizujícím zářením je zabránit vzniku deterministických účinků a stochastické účinky omezit na přijatelnou úroveň.

1.3 Hlavní zásady radiační ochrany pro lékaře-„neradiology“

Podmínky pro používání ionizačního záření v radiologii v České republice upravuje tzv. „atomový zákon“ (zákon č. 18/1997 Sb.) a jeho prováděcí předpisy (zejména vyhláška č. 307/2002 Sb.). Z nich vyplývají nejdůležitější ustanovení vztahující se především k indikacím radiologických metod. Tyto výkony ve většině případů provádí radiolog nebo radiologický asistent, kteří musí splnit další podmínky vyplývající ze zákonných norem.

Vyšetření s použitím ionizujícího záření smí být provedeno jen na základě odůvodněné **lékařské indikace**.



Obr. 1.1 Schéma rentgenky. Rentgenka je evakuovaná skleněná trubice uložená v olověném krytu. Rozžhavením katody (K) jsou uvolněny elektrony, které jsou díky vysokému napětí mezi katodou a anodou (A) výrazně urychleny. Při dopadu na anodu se jejich kinetická energie mění na teplo (99 %) a rentgenové záření (1 %). Pro lepší odvádění tepla je anoda konstruována jako rotační (rotor – R). Využitelná část záření vychází v podobě tzv. primárního svazku výstupním okénkem (V) v krytu rentgenky.

Lékařské ozáření osob se zdůvodňuje očekávaným individuálním zdravotním prospěchem pacienta, který musí převažovat nad možnými riziky. Do procesu odůvodnění lékařského ozáření musí být v souladu s principy klinické odpovědnosti zapojen jak *indikující lékař*, tak i *aplikující odborník* (pracovník, který je zodpovědný za provedení vyšetření – radiolog, kardiolog, zubní lékař, v některých případech i radiologický asistent). Při indikaci vyšetření musí indikující lékař i aplikující odborník:

- zvážit účinky, přínosy a rizika jiných dostupných metod, jež vedou k témuž cíli,
- vzít v úvahu předchozí vyšetření s použitím ionizujícího záření,
- u žen v reprodukčním věku zjistit možnost gravidity nebo kojení dítěte a tyto údaje zaznamenat do pacientčiny zdravotnické dokumentace.

Lékař indikující vyšetření si musí položit zejména následující otázky:

Je toto vyšetření skutečně potřebné? Lékař by neměl zbytečně indikovat vyšetření, o němž lze předpokládat, že jeho výsledky neovlivní další péči o pacienta.

Nebylo toto vyšetření již provedeno? Lékař by měl získat výsledky (popis, případně i snímky) dříve provedených vyšetření (např. v jiné nemocnici), aby se zamezilo opakování vyšetření.

Je to nejlepší vyšetření? V případě pochybností je vhodná konzultace s radiologem.

Je nyní správná doba k provedení vyšetření? Vyšetření by nemělo být vyžadováno např. dříve, než se daná nemoc může rozvinout nebo ustoupit. Při kontrolním (opakovaném) vyšetření je třeba zejména zvážit, zda již mohlo dojít ke změně stavu pacienta.

Na lékařské ozáření pacientů se nevztahují žádné limity. To je třeba chápat tak, že je-li uvažované vyšetření odůvodněně indikováno, není nikde stanoven limit dávky, který by nesměl být překročen.

Vhodné indikace k provedení vyšetření pomocí zobrazovacích metod jsou uvedeny v dokumentu „Indikační kritéria pro zobrazovací metody“ (Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky 2003, částka 11).

1.4 Přehled dávek při radiologických vyšetřeních

V posledních dvou dekadách došlo k výraznému nárůstu absolutního počtu vyšetření používajících ionizujícího záření. To vedlo k tomu, že jejich použití v medicíně dnes ve vyspělých zemích představuje největší umělý zdroj ionizujícího záření pro populaci.

Srovnání dávek obdržených při různých druzích vyšetření je nejuhodnější pomocí efektivní dávky. *Efektivní dávka* se počítá z absorbovaných dávek v jednotlivých orgánech a je vyjádřena jediným číslem. Její jednotkou je sievert (Sv). Umožňuje odhad *rizika stochastických účinků* (vznik fatálních nádorů a genetických změn), které lze srovnat s jinými riziky. Efektivní dávka, a tím i riziko vzniku stochastických účinků je při ozáření dětí do 15 let 2× až 3× vyšší než u dospělých.

V tabulce 1.1 jsou uvedeny hodnoty efektivní dávky a rizika stochastických účinků u některých vyšetření. Obecně lze uvést, že efektivní dávky klasických radiologických vyšetření se mezi sebou významně liší (0,01–10 mSv), ale ve většině případů jsou významně nižší než efektivní dávky při CT vyšetřeních (přibližně

Tab. 1.1 Průměrné efektivní dávky u dospělých osob při některých vyšetřeních, jejich riziko.

Wyšetření (zdroj)	Efektivní dávka	Riziko vzniku fatálního nádoru*
přírodní pozadí	průměrně 3 mSv/rok	
snímek zubu (intraorální)	0,005 mSv	1 : 4 000 000
snímek končetin a kloubů (mimo kyčelních)	< 0,01 mSv	< 1 : 2 000 000
snímek hrudníku (zadopřední projekce)	0,02 mSv	1 : 1 000 000
snímek hrudníku (zadopřední a bočná projekce)	0,1 mSv	1 : 200 000
snímek lebky	0,1 mSv	1 : 200 000
snímek břicha	0,7 mSv	1 : 30 000
snímek bederní páteře	1,5 mSv	1 : 15 000
vylučovací urografie	3 mSv	1 : 7 000
kontrastní vyšetření žaludku nebo tlustého střeva	6–8 mSv	1 : 3 500–2 500
CT hlavy	2 mSv	1 : 10 000
CT hrudníku nebo břicha	7–8 mSv	1 : 3 000–2 500
angiografie hlavy a/nebo krku	5 mSv	1 : 4 000
diagnostická koronarografie	7 mSv**	1 : 3 000
koronarografie + PTA + zavedení stentu	15 mSv**	1 : 1 600
zavedení TIPS	70 mSv**	1 : 300
scintigrafie skeletu	6 mSv	1 : 3 500
celotělová PET/CT	14 mSv	1 : 1 500

* Fatální nádor = nádor, v důsledku kterého pacient zemře.

** Hodnoty se mohou významně lišit podle zkušenosti lékaře provádějícího výkon a podle obtížnosti výkonu (např. pro zavedení TIPS jsou uváděny v rozmezí 20–180 mSv).

2–20 mSv). Průměrné efektivní dávky intervenčních procedur používajících ionizující záření se obvykle pohybují v rozmezí 5–70 mSv, v nukleární medicíně jsou v rozmezí 0,3–20 mSv. Tyto dávky můžeme srovnat s dávkou, kterou obdržíme z přírodního pozadí – ta je v průměru 3 mSv za rok (v rozmezí 1,5–7,5 mSv/rok). Pro porovnání rizik podmíněných ionizujícím zářením s některými běžnými riziky slouží tabulka 1.2.

Expozice ionizujícímu záření během těhotenství.

Vystavení plodu ionizujícímu záření může vést k prenatálnímu úmrtí, zpomalení intrauterinního růstu, mentální retardaci, orgánovým malformacím a vzniku maligního nádoru u narozeného dítěte. Riziko těchto účinků závisí na gestačním věku v okamžiku expozice a na velikosti dávky. Při radiologických vyšetřeních, při nichž nedojde k přímému ozáření plodu, je dávka pro plod zcela minimální, a tím je také riziko vzniku uvedených změn nepravděpodobné. Při vyšetřeních v oblasti břicha a pánve k uvedeným změnám dojít může. Je-li ale vyšetření nezbytné a nelze jej nahradit jinou metodou (např. ultrasonografií nebo magnetickou rezonancí), je riziko přijatelné. Např. po provedeném snímku břicha nebo lumbální páteře stoupá riziko vzniku nádoru u dítěte z 0,067 % na 0,084 % a nárůst ostatních rizik je ještě nižší. U vyšetření s vyšší dávkou na oblast břicha samozřejmě stoupá i riziko vzniku uvedených možností.

1.5 Vyžádání radiologického vyšetření

K vyžádání radiologického vyšetření se používá žádanka. Na ní uvádí lékař indikující vyšetření dva druhy údajů. 1) *Základní osobní data pacienta* (jméno, rodné číslo,

bydliště) – pro archivaci vyšetření a další údaje nutné pro vykazování vyšetření zdravotní pojišťovně (číslo zdravotní pojišťovny pacienta, číslo diagnózy nebo diagnóz podle mezinárodní klasifikace nemocí, razítko lékaře s jeho jménem a číslem, podpis, případně další údaje). 2) *Klinické údaje* – požadovaný druh a oblast vyšetření, ale také anamnézu, významné klinické a laboratorní nálezy a výsledky jiných vyšetření. Žádanka je pro radiologa základním zdrojem těchto údajů o pacientovi. Odpovídající údaje jsou potřebné ke správnému a cílenému provedení výkonu a ke stanovení správného závěru (viz dále). Pro radiologa jsou nejdůležitějšími údaji klinická diagnóza (ve vztahu k požadovanému vyšetření) a otázka, kterou má vyšetření zodpovědět. U vyšetření s předpokládaným podáním kontrastní látky musí být na žádance uvedena alergologická anamnéza.

1.6 Popis radiologických vyšetření

Součástí vyšetření je jeho popis. Popis se skládá ze tří částí: 1) názvu vyšetření a techniky provedení, 2) vlastního popisu vyšetření („objektivní“ popis toho, co je vidět na snímcích) a 3) závěru, kde se kombinují informace z popisu vyšetření s klinickými údaji. U kratších popisů bývají některé nebo všechny části spojeny. Při vlastním popisu používáme termíny, které budou probrány u jednotlivých metod. Popis by měl být natolik výstižný, aby si z něj bylo možno udělat představu o obrazu, i když nemáme snímky k dispozici. Abychom mohli udělat správný závěr vyšetření, potřebujeme znát anamnestické/klinické údaje. Jejich zdrojem je pro radiologa především žádanka. Na správnosti, úplnosti a kvalitě těchto údajů tedy do velké míry závisí možnost udělat správný závěr vyšetření.

Tab. 1.2 Riziko úmrtí vyplývající z běžných vlivů/činností.

Příčina	Riziko úmrtí
riziko vzniku karcinomu z aditiv v potravě	1 : 1 000 000
těhotenství pro matku	1 : 170 000
celková anestezie (1×)	1 : 50 000
cestování tryskovým letadlem (> 1000 mil za rok)	1 : 30 000
pracovní úraz	1 : 2 000
dopravní nehoda	1 : 500
život ve velkém městě (znečištění)	1 : 160
kouření 10 cigaret denně	1 : 5

2

Zobrazovací metody

MIROSLAV HEŘMAN

V této kapitole jsou probrány základní principy zobrazovacích metod, jejich nejčastější indikace a kontraindikace a obecné termíny používané při popisech vyšetření.

2.1 Snímkování

Při snímkování (skiografii, radiografii) záření vznikající v rentgence (obr. 2.1) prochází vyšetřovanou oblastí, kde se částečně absorbuje a rozptyluje v závislosti na složení vyšetřovaných tkání, a poté je registrováno. Klasickým registračním materiálem je fotografický film. Vyvoláním filmu získáváme výsledný obraz. Dnes se již ve většině případů zhotovují snímky digitálně. Nejvýznamnějšími výhodami digitální radiografie proti klasickému snímkování jsou vyšší kvalita získaných obrazů, redukce dávky, možnost následné úpravy obrazu (např. zvýraznění dominantních částí obrazu, úprava jasů, kontrastu, zvětšení, zvýraznění rozhraní) a archivace snímků v digitální podobě.

Existují dva základní principy zhotovení digitálních snímků: *výpočetní radiografie* a *přímá digitální radiografie*.

Při **výpočetní radiografii** (computed radiography – CR, v češtině se pro tento způsob vžil termín „nepřímá digitalizace“) je záření prošlé snímkovaným objektem zachycováno na fóliích s citlivou vrstvou obsahující nejčastěji sloučeniny fosforu. Ty jsou stimulovány v závislosti

na množství dopadajícího záření. Obrazová informace je získána v digitizéru („čtecím zařízení“) skenováním fólie laserem. Množství uvolněné energie je registrováno, a tak je latentní obraz z fosforové vrstvy převeden do digitální podoby. Fosforová vrstva je poté laserem „vymazána“, a tím připravena k dalšímu použití. Tyto fólie bývají uloženy v podobných kazetách jako rentgenové filmy a podobně se s nimi i zachází – po expozici snímku je kazeta vložena do digitizéru, výsledný digitální obraz je zobrazen na monitoru, kde je možné jej dále upravovat. Celý proces od expozice do prvního zobrazení snímku trvá 0,5–2 minuty (obr. 2.1).

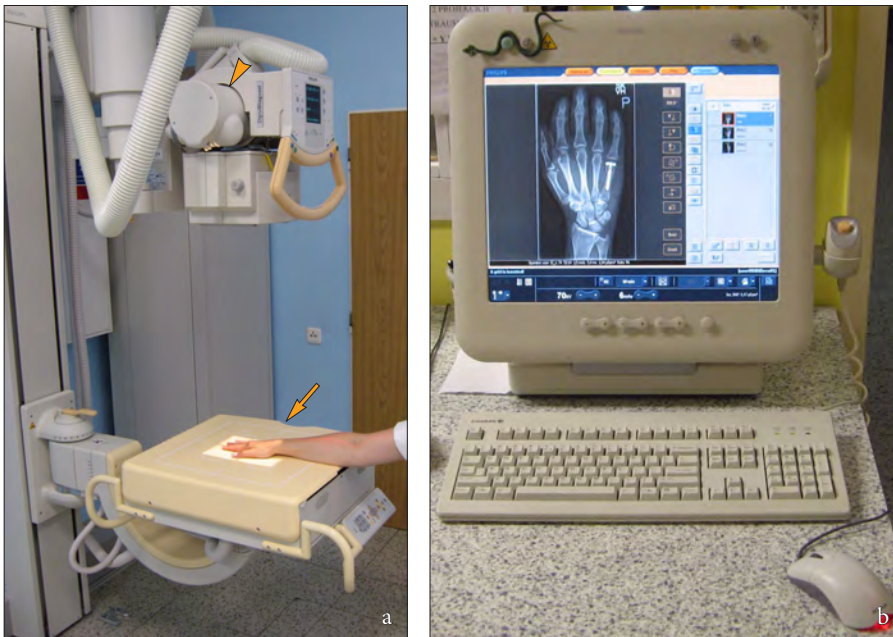
Digitální (přímá) radiografie [digital (direct) radiography – DR, v češtině se používá termín „přímá digitalizace“] používá různé technické principy. Mají však společně to, že k převodu dopadajícího rentgenového záření na elektrické digitální signály dochází přímo v detektoru přístroje. Tento převod je rychlejší než u výpočetní radiografie a navíc odpadá nutnost transportu kazety s fólií z vyšetřovny do digitizéru. Výsledkem je výrazné zrychlení celého procesu – náhled snímku je k dispozici za několik vteřin po jeho expozici (obr. 2.2).

Rentgenový obraz je dvojrozměrný stínový obraz trojrozměrného objektu. Je obrazem *sumačním* – zachycuje informace o všech tkáních, kterými záření procházelo, přičemž nezáleží na pořadí, v jakém k tomu došlo. Tkáně, které absorbují více záření, vytvářejí na snímku *zastínění*



Obr. 2.1 Proces výpočetní radiografie.

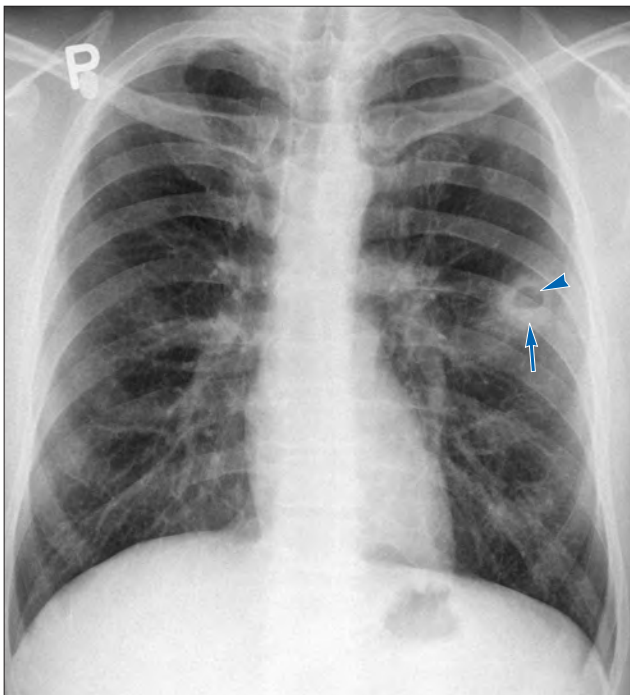
a) Záření vycházející z rentgenky (▶) prochází vyšetřovaným objektem (zde loket) a dopadá na citlivou fólii uzavřenou v kazetě (→). V závislosti na množství prošlého záření vzniká na fólii latentní obraz. b) Poté je kazeta označena údaji pacienta (→) a vložena do digitizéru (▶). V něm je z kazety vyjmuta fólie, oskenována laserovým paprskem, v každém bodě obrazu je registrováno množství uvolněné energie, a tím je latentní obraz „převeden“ na výsledný digitální obraz. Ten je zobrazen na monitoru, radiologickým laborantem zkontrolován, případně upraven a odeslán do digitálního archivu.



Obr. 2.2 Proces přímé digitální radiografie (DR).

a) Záření vycházející z rentgenky (▶) prochází vyšetřovaným objektem (zde ruka) a dopadá na digitální detektor (◄▶), v němž je dopadající záření v každém bodě obrazu převedeno na elektrické impulzy. b) Získaný obraz je zobrazen na monitoru, kde jej radiologický laborant zkontroluje, případně upraví a odešle do digitálního archivu.

(stín), tkáň méně absorbující *projasnění*. Tyto termíny, které se používají při popisu snímku, jsou relativní – vždy jsou vztahovány k normálnímu stavu. Tato terminologie vychází z klasických snímků. Protože klasický snímek je negativ, jsou oblasti projasnění zobrazovány jako „tmavší“ a zastínění jako „světlejší“ (obr. 2.3). Zejména na digitálních snímcích není problémem převést snímek do „pozitivu“ („převrátit“ bílé a černé odstíny), jako základní se však používá negativní zobrazení.



Obr. 2.3 Projasnění/zastínění. Na snímku hrudníku je vlevo patrné zastínění (◄) a v něm projasnění (▶), které je kaudálně ohraničeno hladinkou (typický obraz abscesu). Termíny projasnění/zastínění lze také použít pro fyziologické projasnění plic, stín mediastina, srdeční stín atd.

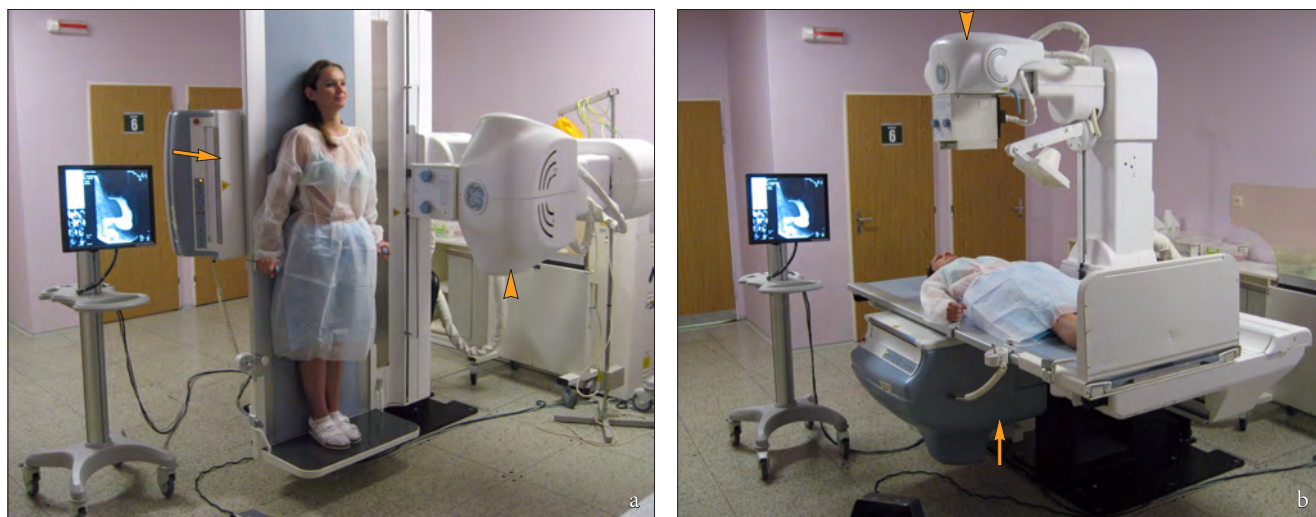
Při snímkování většiny oblastí se zhotovují snímky ve *dvou projekcích*, nejčastěji *předozadní* a *bočné*. Dvě projekce jsou výhodné z několika důvodů – především poskytují informaci o prostorovém uložení struktur a dovolují nalezení změn, které v jedné projekci nemusí být patrné. Termín předozadní (AP – antero-posterior) označuje, že záření prochází pacientem směrem z ventrální strany dorzálně. Takto je zhotovována většina snímků. Významnou výjimkou jsou snímky hrudníku, které se dělají u stojících pacientů jako zadopřední (PA – postero-anterior). Bočné snímky – pravý bočný je takový, při jehož zhotovování byla pravá strana pacienta blíže k detektoru/kazetě s filmem.

Pro prohlížení klasických snímků slouží *negatoskop*, který vydává homogenní, přiměřeně intenzivní světlo. Pro *orientaci snímků* na negatoskopu platí, že předozadní a zadopřední snímky umísťujeme tak, jako bychom se dívali na pacienta stojícího proti nám v základním anatomickém postavení (k výjimkám patří např. snímky rukou a nohou, které orientujeme prsty nahoru). Pro určení strany na snímku jsou rozhodující písmena L nebo P, umístěná obvykle v rohu snímku. Stejně zásady používáme i při orientaci digitálních snímků zobrazovaných na monitoru počítače.

Indikace a kontraindikace. Pomocí prostých snímků nejčastěji vyšetřujeme skelet, hrudník a břicho. Snímky jsou v diagnostických algoritmech v mnoha případech první používanou zobrazovací metodou. Relativní kontraindikací k provádění všech vyšetření využívajících ionizační záření je těhotenství.

2.2 Skiaskopie

Skiaskopie (prosvěcování) umožňuje kontinuální sledování objektu pomocí rentgenového obrazu. Při skiaskopii vydává rentgenka záření kontinuálně, to prochází vyšetřovaným objektem a dopadá u konvenčních přístrojů



Obr. 2.4 Skiaskopická vyšetřovna se „sklopnou stěnou“. Rentgenka (▶), vyšetřovací stůl i detektor záření (→) jsou spojeny a uchyceny tak, že lze vyšetřovat pacienta **a**) vestoje **b**) i vleže, případně stůl sklopit do Trendelenburgovy polohy (s hlavou níže než nohy). Skiaskopický obraz lze sledovat na monitoru přímo ve vyšetřovně, ale i mimo ni.

na *skiaskopický štít*. Štít obsahuje luminiscenční látku, která mění dopadající záření na viditelné světlo. Ke štítu je připojen zesilovač obrazu, ze kterého je obraz snímán videokamerou a zobrazen na monitoru. Novější digitální technologie pracují s přímou konverzí rentgenového záření na elektrické signály (obr. 2.4). Nález při skiaskopickém vyšetření je dokumentován nejčastěji snímky. Při srovnání se snímkováním má skiaskopie větší radiační zátěž, obvykle menší rozlišovací schopnost a menší kontrast. Umožňuje ale zobrazit dynamické děje.

Indikace a kontraindikace. Pod skiaskopickou kontrolou jsou prováděna zejména vyšetření gastrointestinálního traktu, angiografie a intervenční výkony, používá se i peroperačně nejčastěji při operacích skeletu. Kontraindikace se neliší od jiných rentgenových metod.

2.3 Tomografie, tomosyntéza

Tomografie (z řeckého tomeo – vrstva, řezat). Zhotovování vrstevových snímků principiálně vychází ze skiografie. Zobrazení pouze jedné vrstvy (a tím potlačení sumace na skiografii) se děje pohybovým zneostřením (rozmazáním) tkání v jiných úrovních, než je zvolená vrstva. Díky tomu lze na tomogramech posoudit jemnější detaily, než na prostých snímcích.

Indikace a kontraindikace. Hlavními indikacemi k tomografickému vyšetření bylo upřesnění nálezů na plicích a skeletu, které nebyly jasné z prostých snímků. Tato klasická metoda byla v klinické praxi nahrazena dokonalejšími technikami – především výpočetní tomografií (CT) a magnetickou rezonancí. Kontraindikace se neliší od jiných rentgenových metod.

Tomosyntéza je nová technologie „kombinující“ klasickou tomografii a CT. Při jediném pohybu rentgenky o několik desítek stupňů jsou na plochem digitálním detektoru získána data, která umožňují rekonstrukci více tenkých vrstev (buď vzájemně rovnoběžných, nebo ve více rovinách), případně i trojdimenzionálních obrazů. Dávka

je při tomto vyšetření podobná, až dvojnásobně vyšší při srovnání s prostým snímkem.

Indikace a kontraindikace. Tomosyntéza začíná narážet na klinické uplatnění zejména v mamografii a při hodnocení skeletu. Kontraindikace se neliší od jiných rentgenových metod.

2.4 Angiografie (AG)

Termín angiografie označuje obecně zobrazení cév. Cévy lze zobrazit buď neinvazivně pomocí technik dopplerovské ultrasonografie, CT angiografie nebo MR angiografie (tyto metody budou probírány později), nebo invazivně angiografií v užším slova smyslu – takto bude v dalším textu tento termín používán. Při angiografii je intravaskulárně podávána kontrastní látka (KL) a následuje její zázornění rentgenovými metodami.

Angiografická vyšetření jsou prováděna na speciálních pracovištích, jejichž základní součástí je angiografický komplet. Ten umožňuje skiaskopickou kontrolu nutnou pro zavádění instrumentária (katétry, vodiče atd.) i snímkování. Uložení rentgenky a naproti ní umístěného detektoru na pohyblivém C-rameni umožňuje provádět skiaskopii i snímkování v různých projekcích (obr. 2.5). Pacient leží na volně pohyblivém stole – tzv. plovoucí desce (kterou lze samozřejmě ve zvolené poloze zaaretovat). Pro podání KL se při angiografiích používá *tlaková stříkačka*, která umožňuje její rychlou a přesně dávkovanou aplikaci koordinovanou se snímkováním.

Při většině angiografií se používá technika **digitální subtrakční angiografie (DSA)**. Základním principem je digitalizace skiaskopického obrazu a počítačová subtrakce obrazů před a po nástřiku KL. Subtrakce vede k odstranění struktur „pozadí“ (zejména skeletu) patrných na nativním obraze, proto se zobrazí pouze cévy naplněné kontrastní látkou (obr. 2.6).

Termín angiografie se v klinické praxi používá jak pro zobrazení tepen, kapilár i žil v jedné oblasti (např.



Obr. 2.5 Pohled z ovladovny do angiografické vyšetřovny. Pacient leží na vyšetřovacím stole, lékařka provádějící výkon sleduje na monitorech polohu zaváděného katétru. Detektor záření umístěný nad vyšetřovanou oblastí a rentgenka (nyní pod stolem) jsou uloženy na C-rameni (▶) a dovolují nastavení do různých projekcí. V popředí monitory a ovládací prvky v ovladovně.

karotická angiografie), tak i pro zobrazení pouze tepen (např. angiografie dolních končetin). Pro cílené zobrazení žil se používá termín *flebografie*.

Indikace a kontraindikace. AG se používá především k diagnostice onemocnění cév, v současnosti nejčastěji těsně před intervenčním radiologickým výkonem. Kontraindikace angiografických vyšetření jsou stejné jako u snímkování, navíc však přibývají kontraindikace spojené s podáním kontrastní látky a poruchami hemokoagulace.

2.5 Ultrasonografie (US)

Jako synonyma názvu ultrasonografie se používají termíny *sonografie* a *ultrazvuk*.

US je zobrazovací metoda využívající odrazů ultrazvuku od rozhraní tkání s různou akustickou impedancí. Ultrazvuk je vlnění mechanické povahy, přenášené jako vibrace částic prostředí. Při průchodu hmotou se v ní ultrazvuk absorbuje, rozptýluje a odráží. V diagnostice využíváme odrazů, ke kterým dochází na rozhraní různých prostředí (tkání s různou akustickou impedancí), přičemž intenzita odrazu je tím větší, čím větší je rozdíl v hustotě těchto prostředí. V diagnostice se používají frekvence 2–20 MHz a zobrazují se měkké tkáně a tekutiny. Hranice tekutého prostředí (kam můžeme pro vysoký obsah vody zařadit i měkké tkáně) s kostí nebo plynem představuje tak výrazné rozhraní, že na něm dochází k odrazu téměř všeho ultrazvukového vlnění. Proto lze jen omezeně vyšetřovat orgány uložené za skeletem nebo plynem. To je také důvod, proč je nutné používat kontaktní gely na kůži – díky nim je odstraněna tenká vrstvička vzduchu mezi kůží a sondou, která by bránila přechodu vlnění do vyšetřované oblasti. Významnou výjimkou vyšetřování struktur „za“ skeletem je transkraniální dopplerovské vyšetření hlavních kmenů mozkových tepen. Je prováděno přes šupinu temporální kosti, která je relativně tenká a ultrazvuk o vyšší intenzitě používaný v dopplerovské US přes ni projde v dostatečné intenzitě.

Zdrojem ultrazvuku je *piezoelektrický krystal*, který působením střídavého proudu deformuje svůj tvar. Opačný princip je využíván k zachycení odrazů – ech, přičemž intenzita odrazu nás informuje o velikosti rozdílu rozhraní tkání, čas od vyslání k návratu o vzdálenosti rozhraní od zdroje.



Obr. 2.6 Princip digitální subtrakce (zobrazení a. poplitea a jejích větví). a) Těsně před nástřikem KL se zhotoví prostý snímek, b) který se v počítači převede na negativ. c) Na snímku je obraz po nástřiku KL (bez subtrakce). d) Jestliže spojíme obraz (b) a (c), dojde k subtrakci („odečtení“) struktur, které se nezměnily (= skelet, měkké tkáně) a zůstane pouze to, čím se tyto snímky liší, tj. kontrastem naplněných tepen. Subtrahovaný obraz (d) můžeme prohlížet takto nebo v negativu, případně do něj opět promítnout skelet.

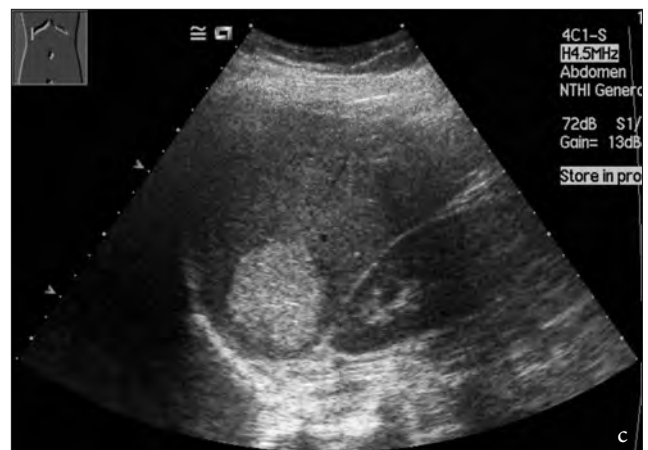
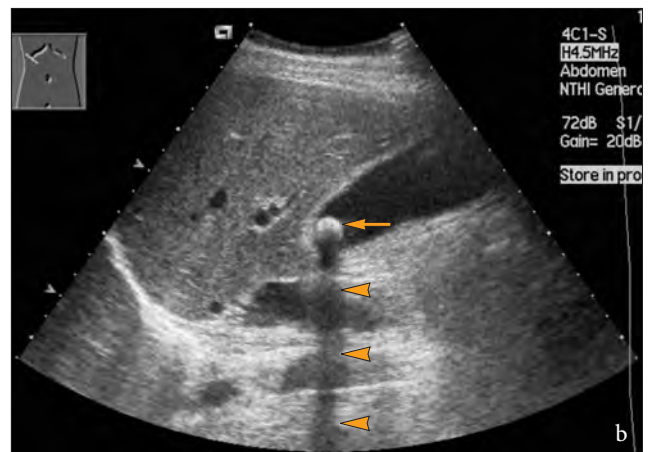


Obr. 2.7 (a) Ultrazvukový přístroj. (b) Sondy – různé typy. Vlevo konvexní sonda s nižšími frekvencemi pro vyšetřování hlubších struktur, např. břicha. Uprostřed lineární sonda s vyššími frekvencemi pro vyšetřování povrchněji uložených struktur, např. krku, cév končetin (obraz na přístroji byl zhotoven touto sondou). Vlevo sektorová sonda s malou kontaktní plochou určená zejména pro vyšetřování nejmenších dětí.

Při většině aplikací ultrazvuku stejný krystal vysílá vlnění (asi 0,5 % provozní doby) i přijímá odrazy (99,5 % provozní doby). Krystal nebo přesněji krystaly jsou uloženy v *sondě*, která může být různé konstrukce. Nejčastější jsou sondy sektorové, lineární a konvexní (obr. 2.7). Sondy se liší také vysílanou frekvencí – pro zobrazení hlubších struktur se používají frekvence 2–5 MHz, při studiu povrchněji uložených struktur 5–15 MHz (mají lepší rozlišovací schopnost, ale menší dosah). Pro *endosonografická vyšetření* slouží speciální sondy, které lze zavést do lumina orgánů a provést vyšetření endorektální, transvaginální, endovezikální, transezofageální, intravaskulární atd.

Nejčastěji používaným typem ultrazvukového záznamu je *dynamický B-mode* (brightness mode), při němž obraz vzniká zachycením velkého množství vedle sebe umístěných odrazů, kterým je v závislosti na intenzitě odrazu přiřazen na monitoru příslušný stupeň šedi. Při popisu těchto obrazů používáme termíny *hyperechogenní* (s vyšší echogenitou – na obraze světlejší – tkáně s více výraznějšími rozhraními), *izoechoenní* (se stejnou echogenitou), *hypoechoenní* (s nižší echogenitou – na obraze tmavší – homogenní tkáně s méně menšími rozhraními),

Obr. 2.8 Příklady různě echogenních struktur. a) V játrech se střední echogenitou jsou patrné vícečetné okrouhlé anechoenní útvary různé velikosti odpovídající cystám. b) U jiného pacienta je pod játry zobrazen anechoenní žlučník, ve kterém je patrné silné echo (→) provázené akustickým stínem (▶). Jde o typický obraz konkrémentu. c) Jiný pacient – v dorzální části jater je sledovatelný okrouhlý hyperechogenní útvar odpovídající hemangiomu.



anechogenní (bez vnitřních ech – na obraze černý, resp. výrazně tmavý – tekutiny) (obr. 2.8, tab. 2.1). Výrazně *echogenní* linie (silné echo) doprovázené směrem od sondy *akustickým stínem* (oblast, kam neprošlo žádné vlnění) znamená přítomnost kosti, kamene, kalcifikace nebo plynu (obr. 2.8b). Při popisu US nálezu se termíny hyper-/

hypoechoenní vztahují nejčastěji k normální echogenitě orgánu či tkáně.

US obrazy lze získat v různých rovinách. Při jejich snímkování se dodržuje zásada, že na obrazech v transverzální rovině je levá strana pacienta na obraze vpravo (podobně jako na rentgenových snímcích), na obrazech v sagitální nebo koronální rovině je kranální směr na obraze vlevo (obr. 2.9). Při vyšetření získáváme dynamický obraz v reálném čase, což nám umožňuje zvolit nejvýhodnější rovinu zobrazení a také sledovat pohyb (např. pulzaci cév, pohyb srdce, pohyb orgánů při dýchání).

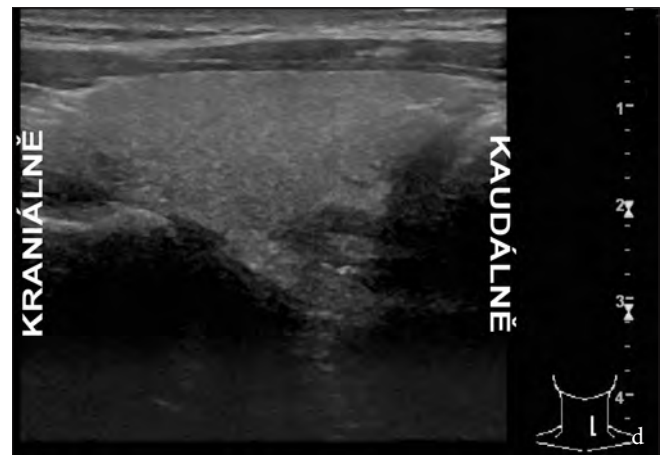
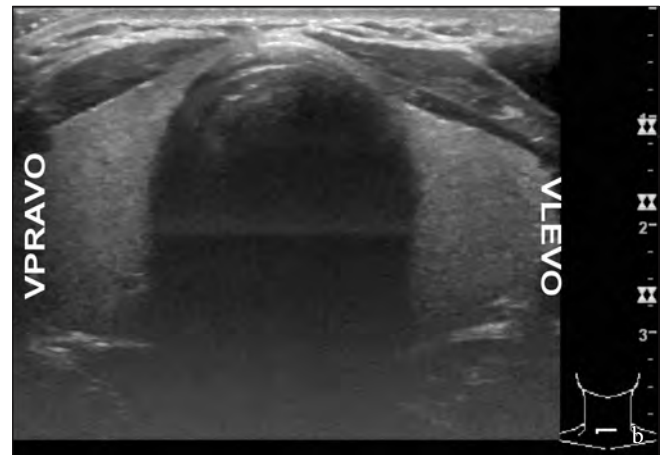
V echokardiografii je na ústupu *M-mode* (motion mode), jehož výsledkem je soubor křivek zaznamenávajících pohyb např. srdečních chlopní.

Dopplerovská technika. Využívá se při ní Dopplerova jevu – změny frekvence vlnění při odrazu od pohybujícího se objektu. Ze změny frekvence vlnění lze určit rychlost a směr pohybu objektu. V diagnostice jsou zkoumaným objektem nejčastěji krvinky v cévách. Výsledkem dopplerovského zobrazení je *barevný záznam* („barevné mapování“) pohybujících se objektů na pozadí obrazu v B-módu (obr. 2.10a) nebo *křivka* (resp. spektrum křivek) udávající hodnoty rychlosti v čase (obr. 2.10b).

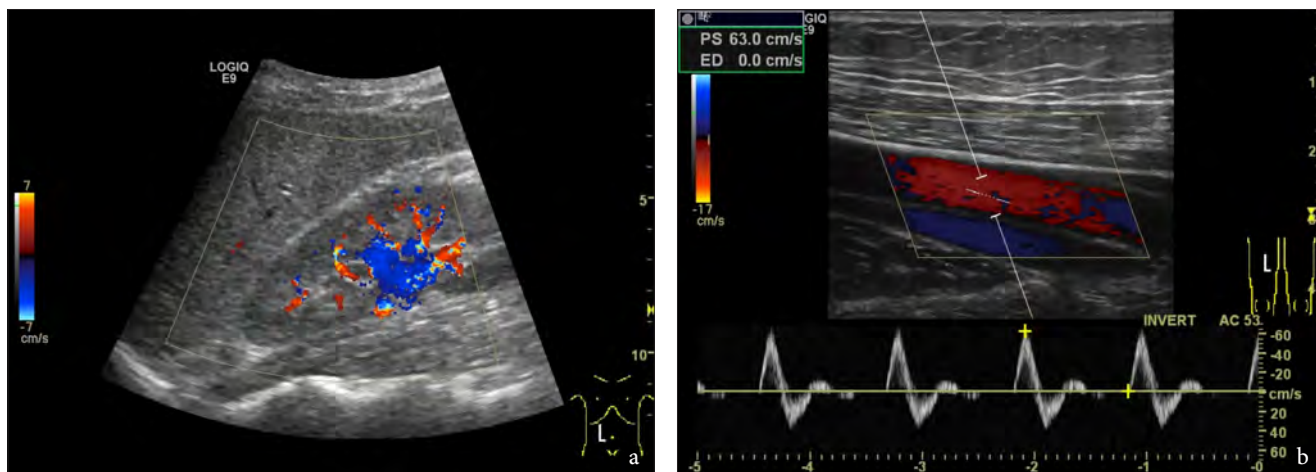
Při barevném záznamu jsou pohybující se objekty znázorněny pomocí odstínů červené (červenožluté) a modré (modrozelené) barvy. V praxi jsou jimi obvykle krvinky,

Tab. 2.1 Echogenita některých typů tkání.

Echogenita	Příklady typu tkáně
anechogenní	tekutina (např. moč, žluč, obsah cyst, krev v cévách)
hypoechoenní	parenchym ledviny, uzliny, hematom (obvykle heterogenní, často hypo- i hyperechoenní), obsah abscesu, empyém
střední echogenita	normální játra, slezina, štítná žláza
hyperechoenní	játra se steatózou, fibrózou nebo cirhózou, pankreas u starších nebo obézních osob, hematom
silné echo s akustickým stínem	kost, kalcifikace, kámen, plyn (např. vzduch v trachei, ve střevě...)



Obr. 2.9 Zobrazení štítné žlázy. a) Poloha sondy na krku při získávání obrazu v transverzální rovině. b) Obraz v transverzální rovině. Uprostřed obrazu trachea, za ní akustický stín. c) Poloha sondy na krku při získávání obrazu levého laloku v sagitální rovině. d) Obraz levého laloku štítné žlázy v sagitální rovině. O poloze sondy na snímcích (b) a (d) nás informuje piktogram umístěný obvykle v některém rohu obrazu.



Obr. 2.10 Dopplerovský záznam. a) Barevné mapování – ve zvolené výšce obrazu jsou pohybující se objekty znázorněny barevně (na obraze v sagitální rovině je zachycena kaudální část jater a větší část pravé ledviny). b) Dopplerovská křivka – v horní části obrazu jsou patrné podélně zachycené arteria (červeně) a vena (modře) femoralis vpravo. Dopplerovská křivka v dolní části obrazu byla získána z tepny v místě označeném kurzory. Na křivce je na ose x zachycen čas (v sekundách), na ose y rychlost (v cm/s). Jde o trifázickou křivku představující v končetinových tepnách normální nálezn.

takže barevně jsou znázorněny toky v průchodných cévách. Barvy znázorňují směr pohybu k vyšetřovací sondě nebo od sondy, jejich odstíny udávají rychlost toku. Mimo tohoto standardního způsobu nabízejí US přístroje i další techniky barevného mapování – např. energetický dopplerovský mód, při němž lze registrovat i velmi pomalé toky v drobných cévách (ale bez registrace směru toku) (obr. 2.11).

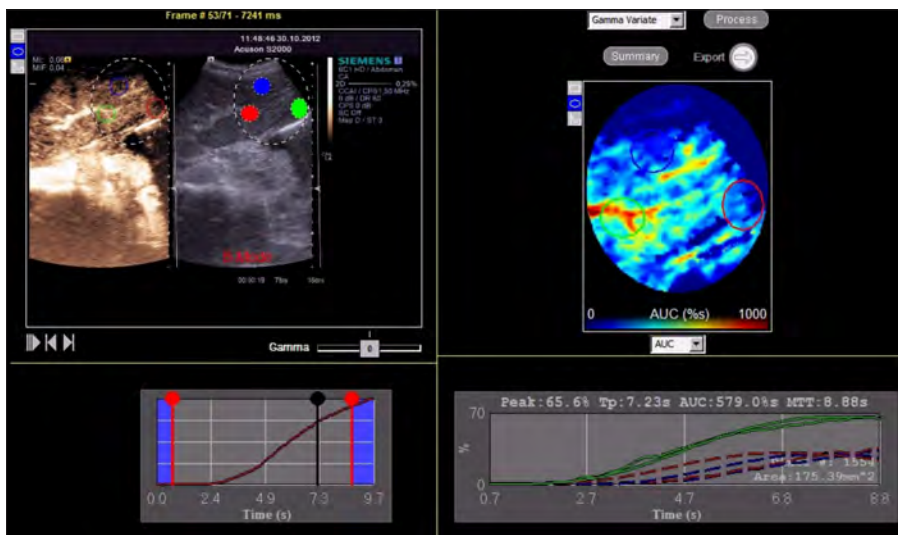
Z dopplerovské křivky lze vyčíst nejen údaje o maximální systolické rychlosti či nejnižší diastolické rychlosti, ale také z ní spočítat řadu poměrových indexů vypovídajících např. o odporu (rezistenci) v periferii povodí vyšetřované cévy (tzv. index rezistence – RI). Na moderních přístrojích bývá výpočet indexů automatizován.

Pro současné zobrazení B-módu i dopplerovských signálů bývá používán i termín *duplexní sonografie* (obr. 2.10a), je-li současně zobrazena i dopplerovská křivka, lze použít termín *triplexní*.

Kontrastní US (CEUS – contrast-enhanced ultrasound). Klasické i dopplerovské US vyšetření lze doplnit aplikací speciální kontrastní látky (KL) obsahující



Obr. 2.11 Energetický doppler z podélně zobrazené pravé ledviny zachytil i toky v drobných cévách v periferii ledviny (srovnej s obr. 2.10a).



Obr. 2.12 Kontrastní ultrasonografie.

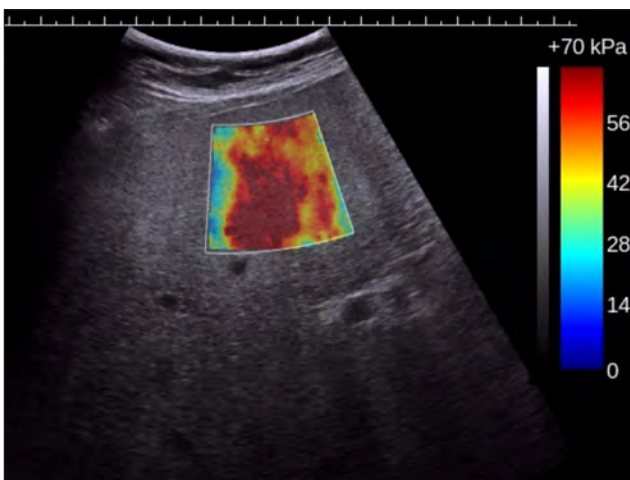
Vyhodnocení nálezu po i.v. aplikaci ultrazvukové kontrastní látky. Křivky v dolní části snímku ukazují charakter sycení v různých místech levého laloku jater, ve kterém byly patrné mapovité hyperechogenní oblasti.

mikrobubliny (viz kap. 3). Po intravenózní aplikaci se mikrobubliny dostávají s krví do všech prokrvených tkání, a protože zvyšují echogenitu, lze je registrovat jak v B-módu, tak dopplerovskými technikami. CEUS je využíván pro hodnocení perfuze orgánů a tkání (která bývá rozdílná v normálních a patologicky změněných tkáních, např. tumorech) (obr. 2.12), zkvalitnění dopplerovských záznamů, potvrzení zkratů (např. v srdci) atd.

Elastografie je neinvazivní metoda, při níž je hodnocena tuhost (elasticita) tkání. Ta je rozdílná mezi normálními a patologicky změněnými tkáněmi (např. maligní tumory jsou obvykle 5–28× tužší než normální tkáň, ze které vyrůstají; tuhost stoupá v cirhoticky změněných játrech) (obr. 2.13).

Endosonografické metody jsou stále častěji používané v různých oblastech. Jejich výhodou je možnost použití vyšších frekvencí, a tím přesnější zobrazení blízkých struktur. Hlavní význam je proto při hodnocení hloubky poškození stěny dutých orgánů, případně struktur v jejich těsné blízkosti.

Indikace a kontraindikace. US se používá především pro vyšetření parenchymatózních orgánů, měkkých tkání, tekutinových útvarů a kardiovaskulárního systému. US je ideální metodou pro rozlišení útvarů měkkotkáňových (solidních) od tekutinových (cystických). V radiodiagnostice se nejčastěji vyšetřuje oblast břicha, retroperitonea a pánve, krk, prsa, měkké tkáně končetin, u kojenců mozek (dokud je otevřená fontanela) a kyčelní klouby (před jejich kompletní osifikací). V oblasti hrudníku jde nejčastěji o sledování pleurálních výpotků. Dopplerovské techniky se používají nejvíce při studiu karotických, intrakraniálních, renálních a končetinových tepen, u žilního systému v diagnostice hlubokých trombóz v končetinových nebo pánevních žilách a zobrazení portálního řečiště. Echokardiografie se stala rutinní zobrazovací metodou pro vyšetřování srdce. Významné místo má US v porodnictví, především v prenatalní diagnostice. US je také vhodná metoda k řízení diagnostických punkcí a drenáží tekutinových kolekcí.



Obr. 2.13 Elastografie. Na obraze jater v B-módu je ve výřezu barevně zobrazena tuhost tkáně. Ze stupnice na pravé straně snímku lze vyčíst tuhost (elasticitu). V tomto případě byla velmi vysoká (průměrně 80 kPa), přičemž normální játra by měla mít elasticitu do 16 kPa. Tento nálezh svědčí pro cirhózu jater.

S výjimkou endosonografických metod je ultrasonografické vyšetření neinvazivní. Je dostupné, snadno proveditelné a opakovatelné, relativně levné, v nutných případech jej lze provést u lůžka pacienta. Nevýhodami US jsou zejména závislost na zkušenostech vyšetřujícího a nemožnost zobrazení všech struktur. U obézních pacientů je obraz méně kvalitní (v důsledku velkého rozptylu ultrazvukových vln v tukové tkáni).

US vyšetření nemá žádné kontraindikace. Ultrazvuk v intenzitách používaných v diagnostice nemá prokázané nežádoucí účinky na organismus ani na plod. Přesto se při sledování vývoje plodu doporučuje omezit použití dopplerovských technik na nezbytně nutnou dobu.

2.6 Výpočetní tomografie (CT)

Výpočetní tomografie (CT – computed tomography, v češtině se často používá nepřesný termín „počítačová tomografie“) je zobrazovací metoda využívající digitální zpracování dat o průchodu rentgenového záření v mnoha průmětech vyšetřovanou vrstvou.

Základní princip je, podobně jako při konvenčním snímkování, založen na zeslabování svazku rentgenového záření při průchodu vyšetřovaným objektem. Jde o metodu tomografickou, vyšetření se skládá z většího množství sousedících vrstev – *skenů* o šířce 0,5–5 mm. Na obr. 2.14 jsou popsány hlavní součásti CT přístroje.

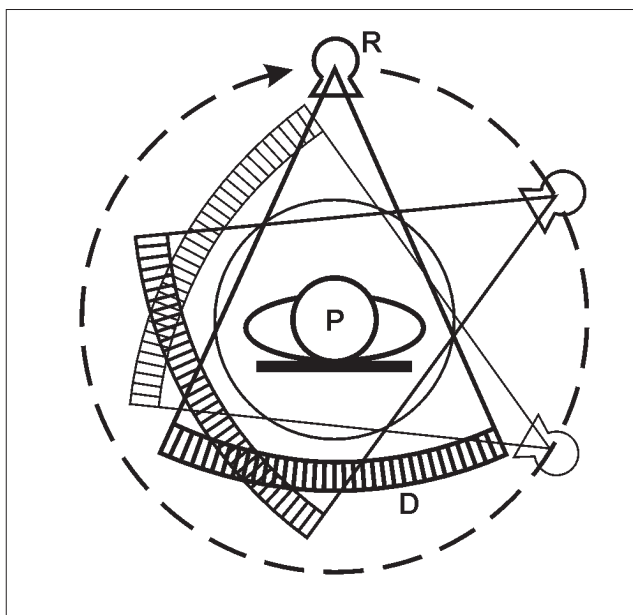
Princip získávání obrazu vrstev se snáze pochopí na přístrojích pracujících s jednou řadou detektorů. Svazek záření vycházející z rentgenky je vycloněn do tvaru vějíře, jehož šířka určuje šířku zobrazované vrstvy. Záření



Obr. 2.14 Hlavní součásti CT přístroje – pohled z ovladovny do vyšetřovny. Pacient ležící na výsuvné desce vyšetřovacího stolu se postupně posouvá do otvoru v gantry. Uvnitř gantry je uložena rentgenka a systém detektorů, které rotují kolem pacienta. Před gantry na levé straně je patrná tlaková stříkačka pro podávání kontrastní látky. V ovladovně jsou monitory, na nichž se sleduje průběh vyšetření a jsou zobrazovány získané skeny.

po průchodu pacientem dopadá na detektory uložené na části kruhové výseče naproti rentgence. V detektorech je registrováno množství dopadajícího záření a převedeno na elektrický signál, který je odeslán ke zpracování do počítače. Během expozice (zhotovení) jedné vrstvy se systém rentgenka – detektory otočí kolem pacienta o 360° . Doba rotace (expoziční čas) se pohybuje v rozmezí 0,3–2 sekundy. U nových přístrojů se nejčastěji pracuje s expozičními časy do 1 sekundy. Během této rotace se změří řádové stovky dat (obvykle 720–1440 měření) každým detektorem, detektorů bývá 800–1200 (obr. 2.15). Z těchto dat počítač rekonstruuje obraz vyšetřované vrstvy.

Detektory současných přístrojů jsou konstruovány tak, že obsahují více řad „úzkých“ detektorů umístěných vedle sebe. Během jedné rotace rentgenky a detektorů je tedy zhotoven



Obr. 2.15 Princip CT. Pro zhotovení jedné vrstvy se systém rentgenka (R) a detektory (D) otočí kolem pacienta (P) o 360° . Množství prošlého záření je v několika stovkách dílčích měření registrováno detektory, převedeno na elektrický signál a odesláno do počítače, který vytvoří obraz snímkané vrstvy.

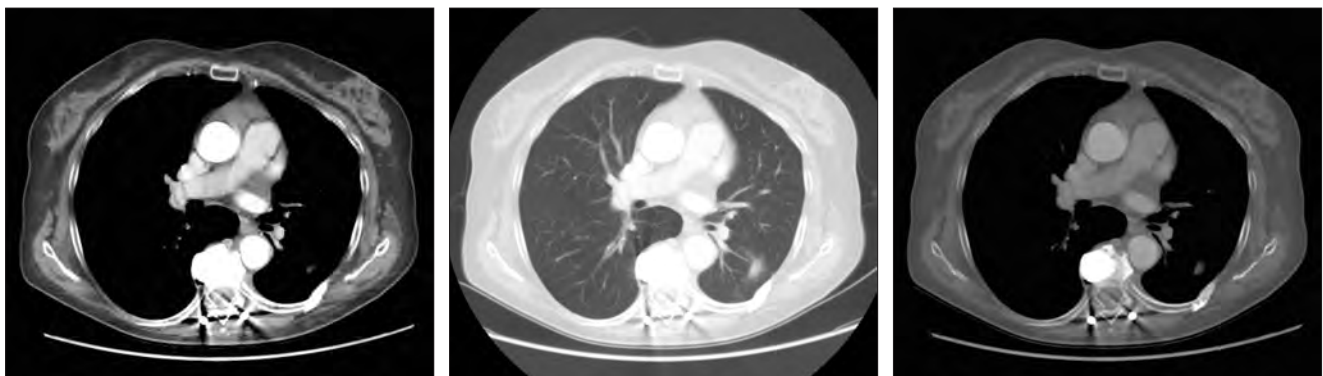
větší počet tenkých vrstev (od 4 až po několik stovek). Je-li vhodnější zobrazit vrstvu větší šíře, spojí se signál z několika sousedních řad detektorů. Přístroje s více řadami detektorů jsou označovány jako MDCT (multi-detector CT).

Získávané obrazy vrstev jsou obrazy digitální – jsou tvořeny maticí bodů, obvykle v počtu 512×512 . Přístrojem vypočítaná míra oslabení záření v jednotlivých místech vyšetřované vrstvy se označuje jako *denzita*. Udává se v *Hounsfieldových jednotkách* (HU – Hounsfield unit). Základní stupnice denzit je rozdělena na 4096 stupňů (jde o digitální technologii pracující ve dvojkové soustavě; číslo $4096 = 2^{12}$) od -1000 do $+3096$. Rozložení Hounsfieldovy škály vychází ze dvou bodů: hodnota -1000 HU odpovídá denzitě vzduchu, 0 HU denzitě (destilované) vody. Denzity některých typů tkání jsou uvedeny v tabulce 2.2.

Na obrazech CT skenů jsou denzity reprezentovány stupni šedi. Protože lidské oko je schopno rozlišit jen do 60 odstínů šedi a ve většině případů nás zajímají rozdíly v tkáních s podobnou denzitou (zejména v měkkých tkáních), vybíráme si z celé škály denzit jen určitou část – tzv. *okno* (*okénko*) (obr. 2.16). Prohlížením obrazů v různých oknech získáváme postupně informace o tkáních s různými denzitami (např. o měkkých tkáních, skeletu, plicích).

Tab. 2.2 Denzity některých typů tkání (orientačně).

Druh tkáně	Denzita (HU)
vzduch	$-1\ 000$
voda	0
kosti, kalcifikace	> 90
měkké tkáně	$25-70$
sražená krev (koagulum)	$65-85$
krev v cévách (nesražená)	40
tekutinové útvary (likvor, moč, obsah cyst...)	$0-15$
tuk	-40 až -120
vzdušná plice	-800 až -900

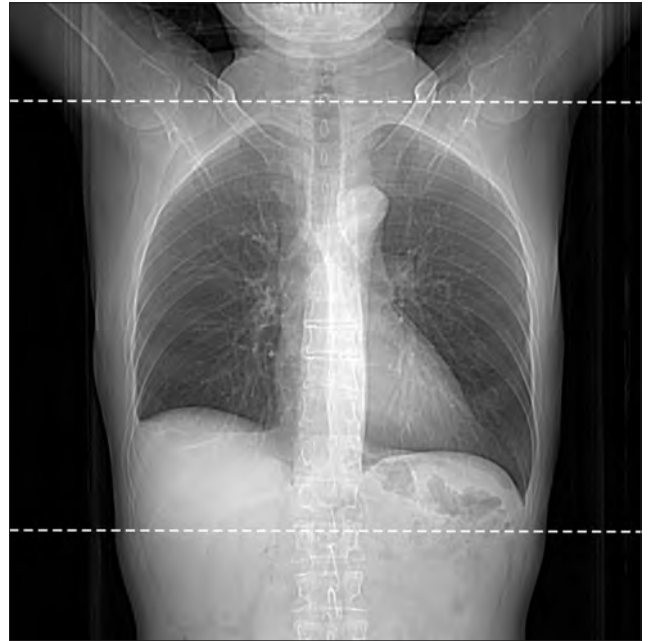


Obr. 2.16 Příklad použití různých oken při hodnocení CT vyšetření. Stejný sken hrudníku (ze série zhotovené po aplikaci KL i. v.) zobrazený v různých oknech. **a)** Měkkotkáňové (mediastinální) okno – dobře jsou patrné jednotlivé svaly, cévy a tuková tkáň v mediastinu. Protože denzita plic je pod dolní hranici tohoto okna, jsou plice zobrazeny černě. **b)** Plicní okno – dobře jsou sledovatelné cévy v plicích, zatímco měkkotkáňové struktury jsou jen stěží diferencovatelné. **c)** Kostní okno – přestože jsou kosti patrné i v ostatních oknech, teprve zde jsou zobrazeny správně – srovnajte např. šířku kortikalis žebel. Teprve v tomto okně je jasně patrný stav po operaci páteře a implantovaný kovový materiál do páteře a žebra vlevo.

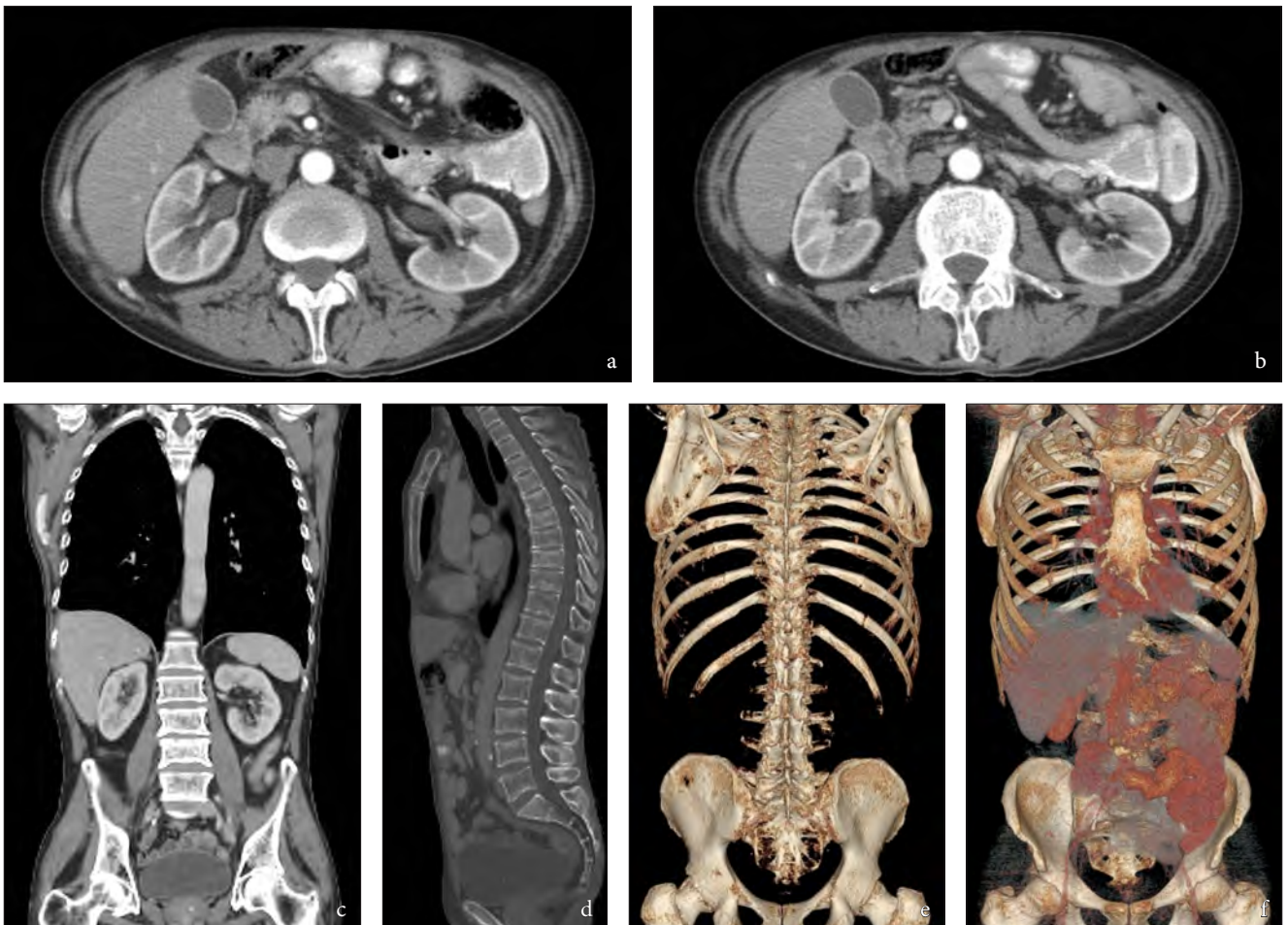
CT vyšetření probíhá tak, že je nejprve CT přístrojem zhotoven digitální snímek vyšetřované oblasti (používají se pro něj různé názvy: topogram, skenogram, scout, pilot-view) – rentgenka ani detektory se nepohybují a pacient ležící na pohyblivém stole projede během expozice otvorem v gantry. Na získaném snímku se naplánuje rozsah vyšetření (obr. 2.17). Následuje vlastní vyšetření – konvenční nebo spirální technikou. Při obou technikách získáváme vrstvé obrazy téměř výhradně v axiální (transverzální) rovině. Protože je jich obvykle zhotoveno několik desítek až stovek navzájem sousedících, lze z nich poté vytvořit obrazy v libovolné rovině nebo trojdimenzi-onální (3D) rekonstrukce (obr. 2.18).

Podle potřeby vyšetřujeme nejen nativně, ale stejnou sérii skenů provádíme i po intravenózní aplikaci jodové KL. Hlavními důvody k jejímu podání jsou lepší rozlišení cév od ostatních struktur a rozdílné sycení normálních a patologicky změněných tkání. Při vyšetřeních břicha a pánve se podává před vyšetřením KL perorálně (někdy i per rectum), aby bylo možné spolehlivě odlišit střevní kličky od jiných útvarů (např. abscesů, tumorů).

Konvenční CT vyšetření probíhá tak, že jsou zhotovovány postupně jednotlivé vrstvy, mezi nimiž se vyšetřovací



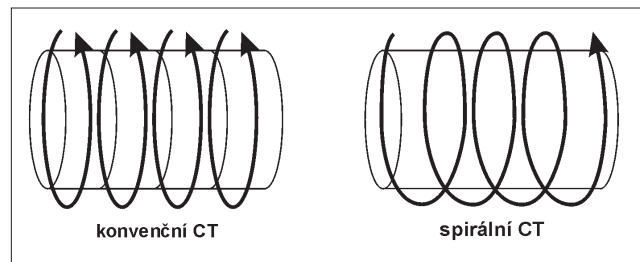
Obr. 2.17 Topogram. Čáry označují začátek a konec skenované oblasti. V tomto případě šlo o vyšetření plic.



Obr. 2.18 Různé možnosti rekonstrukce CT skenů. a), b) Dva CT skeny ze spirální série zhotovené po aplikaci bolu KL i. v. Celá série obsahující velké množství tenkých skenů (v transverzální rovině) zachytila oblast hrudníku, břicha a pánve. Z takové série lze zhotovit 2D i 3D rekonstrukce. c) 2D rekonstrukce v koronální rovině (měkkotkáňové okno). d) Sagitální rekonstrukce (kostní okno). e) Objemová 3D rekonstrukce zobrazující skelet. Pohled zezadu. Oboustranně jsou patrné fraktury dolních žeber. f) Objemová rekonstrukce, pohled zepředu. Mimo skeletu je zobrazena i část měkkých tkání.

stůl s pacientem posune o zvolenou vzdálenost (obr. 2.19). Ve většině případů jsou šířka vrstvy a posun stolu stejně velké, čímž dosahujeme pokrytí celé vyšetřované oblasti.

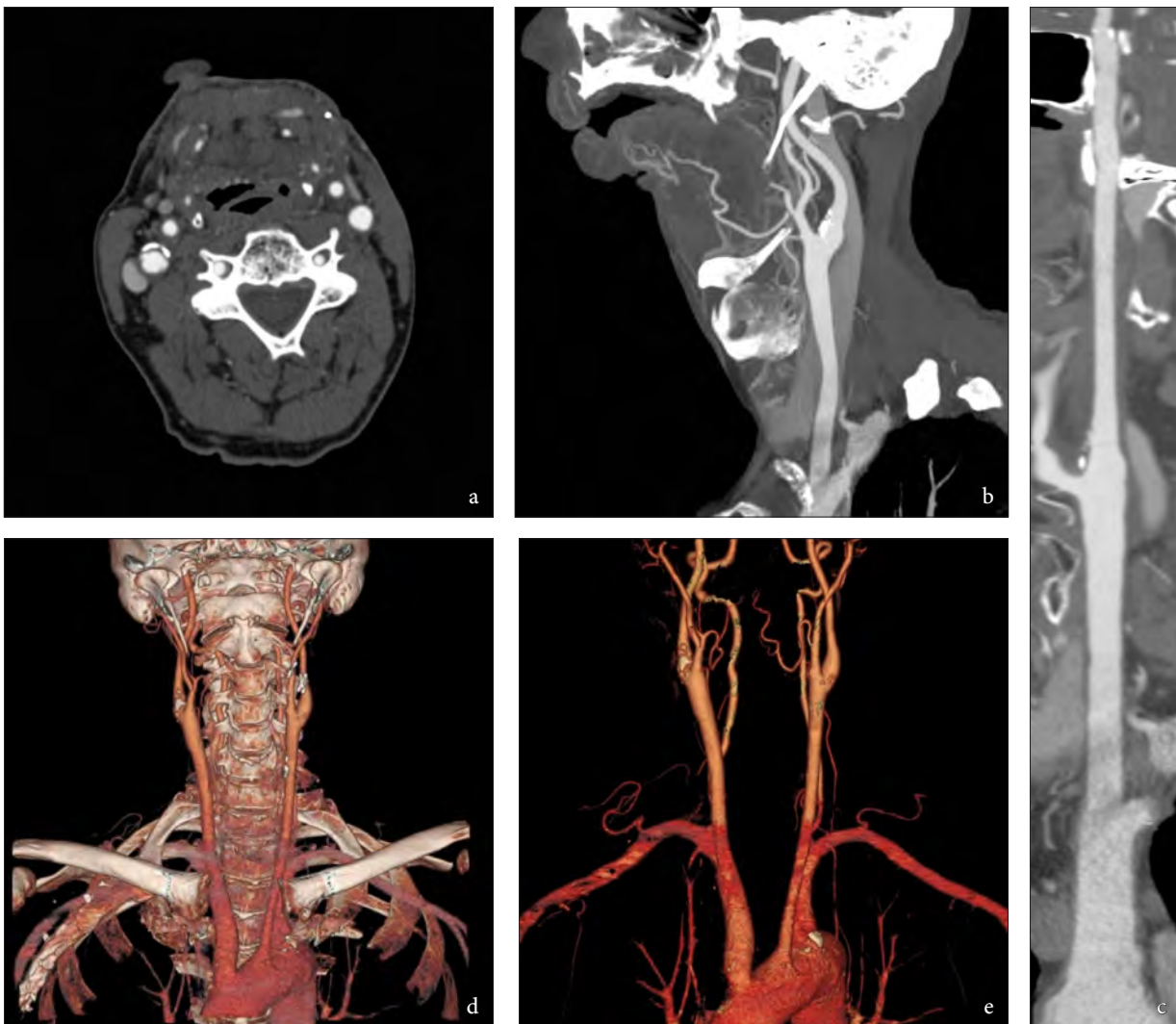
Při **spirálním (helikálním) CT** se celá vyšetřovaná oblast zobrazuje tak, že během kontinuální expozice (obvykle několika desítek rotací rentgenky a detektorů) pacient pomalu projíždí otvorem v gantry. Tím jsou získána na sebe navazující data celé vyšetřované oblasti, z nichž počítač rekonstruuje obrazy jednotlivých vrstev (obr. 2.19). Výhodou spirální techniky je kratší doba vyšetření (výhodné při vyšetření neklidných pacientů, vyšetření celého orgánu během jediného nádechu, možnost aplikace menšího množství kontrastní látky intravenózně), jistota zachycení celého objemu vyšetřované oblasti (výhodné pro průkaz drobnějších lézí) a s nižší dávkou můžeme získat překrývající se vrstvy (výhodné pro rekonstrukce obrazů). Ze zhotovené spirální série při intravenózní aplikaci kontrastní látky lze také zrekonstruovat obraz cév – provést *CT angiografii (CTA)* (obr. 2.20). Rychlost spirální techniky vynikne zejména na MDCT přístrojích. Jsou-li vybaveny



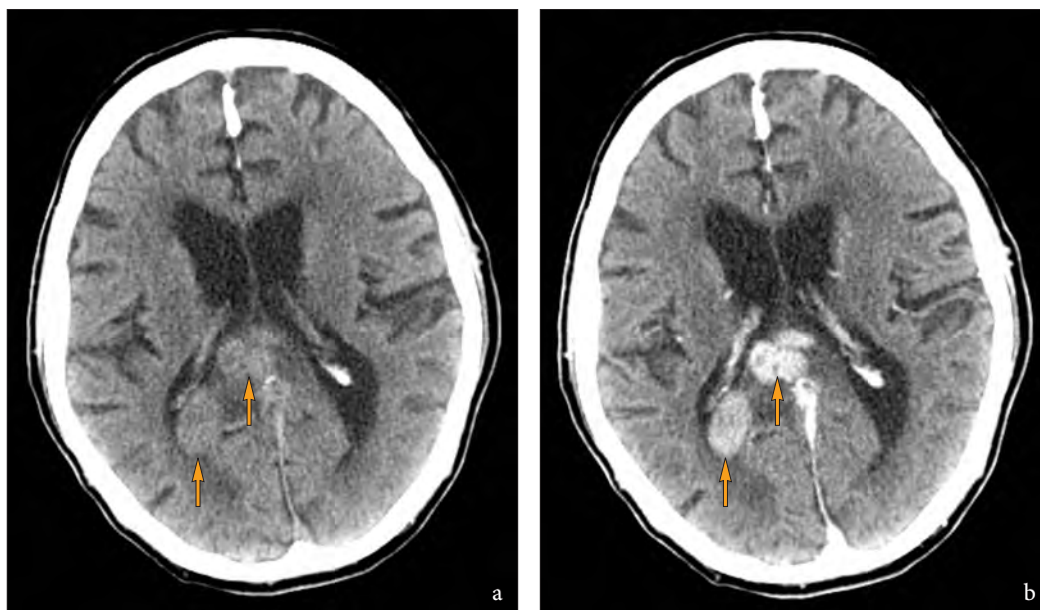
Obr. 2.19 Schéma principu konvenčního a spirálního CT. Při konvenčním CT vyšetření jsou jednotlivé vrstvy zhotovovány postupně. Při spirální technice jsou kontinuálně získány informace o celém vyšetřovaném objemu a z těchto dat potom počítač vytváří obrazy jednotlivých vrstev.

speciálním softwarem, je na nich možné synchronizovat sběr dat s EKG a provést zobrazení srdce včetně koronárních tepen (CT koronarografie).

Při CT vyšetření lze zjistit jen takové patologické procesy, které se na nativních skenech nebo po podání kontrastní látky liší svou denzitou od okolí. Při popisu nálezů



Obr. 2.20 CT angiografie. **a)** Jeden ze skenů spirální série zhotovené po aplikaci rychle podaného bolu KL i. v. Celá série v tomto případě zobrazila oblast od oblouku aorty až po větší část lebky. **b)** Rekonstrukce typu maximum intensity projection (MIP) zachycující v sagitální rovině pravou a. carotis v jejím průběhu na krku. **c)** Rekonstrukce pravé a. carotis a a. carotis interna zhotovená v průběhu osy těchto tepen. **d)** Objemová 3D rekonstrukce zachycující tepny na krku při pohledu zepředu (s virtuálním odstraněním části skeletu, který bránil pohledu na tepny hrudníku a krku). **e)** Stejný pohled po virtuálním odstranění celého skeletu.



Obr. 2.21 Popis CT. a) Na nativním skenu mozku jsou jen nevýrazně patrná izodenzní ložiska (→) uložená mediálně od těla pravé postranní komory. b) Po aplikaci KL i. v. se ložiska homogenně nasýtila (→).

na CT skenech používáme termíny: *hypodenzní* (s nižší densitou – na obrazech tmavší), *izodenzní* (se stejnou densitou), *hyperdensní* (s vyšší densitou – na obrazech světlejší). Tyto termíny jsou relativní, podle vztahu k normální densitě orgánu. Jestliže je vyšetření provedeno nativně a po aplikaci kontrastní látky intravenózně, popisujeme patologické útvary obvykle tak, že popíšeme, jakou měly densitu nativně a jak se změnila po aplikaci KL – používá se termín *syčení* nebo *opacifikace* kontrastní látkou (lze použít i obecné termíny zvýšení nebo vzestup denzity) (obr. 2.21).

CT vyšetření trvá obvykle 5–15 minut, přičemž vlastní snímání dat probíhá pouze několik vteřin (nejvíce desítek vteřin). Během vyšetření se pacient nesmí hýbat – u nespolupracujících pacientů (nejčastěji malé děti) se vyšetření provádí v sedací nebo celkové anestezii. CT přístroje jsou také součástí PET/CT nebo SPECT/CT zařízení. Tyto kombinace metod (nazývané též hybridní přístroje nebo hybridní zobrazování) využívají vysokého prostorového rozlišení CT a funkční informace získávané metodami nukleární medicíny.

Indikace a kontraindikace. Indikace k CT jsou široké a zahrnují prakticky všechny oblasti těla a všechny skupiny diagnóz. Nejčastějšími indikacemi jsou vyloučení nebo potvrzení přítomnosti ložiskových lézí a stážování tumorů (zařazení do klasifikace TNM). K akutnímu CT vyšetření jsou indikována zejména traumata (lebky, páteře, hrudníku, břicha, pánve a některé úrazy končetin), cévní mozkové příhody, pátrání po abscesech či pooperačních komplikacích. Pod kontrolou CT lze také provádět diagnostické biopsie a terapeutické drenáže tekutinových kolekcí. V mnoha případech se překrývají indikace k vyšetření CT a magnetickou rezonancí. Srovnání těchto dvou zobrazovacích metod bude uvedeno v následujícím oddíle.

Absolutní kontraindikace k CT vyšetření nejsou, relativní kontraindikací je těhotenství.

Na začátku roku 2014 pracovalo v České republice přes 150 CT přístrojů. Přitom ve všech velkých centrech je zajištěna stálá dostupnost CT 24 hodin denně.

2.7 Magnetická rezonance (MR)

Celkový pohled na MR přístroj je na obr. 2.22.

Při vyšetření magnetickou rezonancí zjišťujeme změny magnetických momentů jader prvků s lichým protonovým číslem uložených v silném statickém magnetickém poli po aplikaci radiofrekvenčních pulzů.

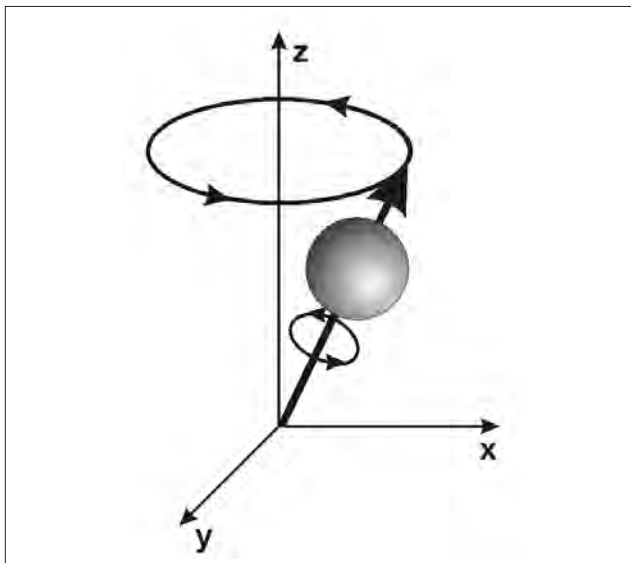
V důsledku rotace atomových jader kolem své osy (*spin*) vzniká kolem jader s lichým protonovým číslem magnetické pole (magnetický moment). Atom vodíku ^1H obsahuje v jádru jediný proton, je hojně rozšířen, a proto se využívá v MR zobrazování (v dalším textu se bude



Obr. 2.22 Přístroj MR. Pohled z ovladovny do vyšetřovny. Pacient ležící na výsuvné desce vyšetřovacího stolu je v otvoru gantry uložen tak, že vyšetřovaná oblast je umístěna uprostřed otvoru (v tomto případě bylo vyšetřováno břicho). V gantry je umístěn silný magnet (většinou pracující na principu supravodivosti, chlazený heliem na teplotu 4 kelviny), gradientové cívký a základní přijímací cívký. V ovladovně je vidět monitor, na kterém se zobrazují technická data i získané obrazy.

hovořit o protonech – jádrech atomu vodíku). Vložíme-li zkoumanou tkáň do silného zevního magnetického pole, dojde k uspořádání spinů protonů do jednoho směru (přesněji jde o dva opačné směry, z nichž jeden převažuje, a výsledný magnetický moment z velkého množství protonů je tedy v jednom směru). V tomto stavu koná magnetický moment protonů dva druhy pohybu – jednak rotuje kolem své osy (spin), jednak po plášti pomyslného kužele, což se označuje jako *precese* (obr. 2.23). Jestliže je aplikován radiofrekvenční pulz (elektromagnetické vlnění v pásmu rozhlasových krátkých vln) o takové frekvenci, která je shodná s frekvencí precese protonu, dojde na principu *rezonance* k vychýlení magnetického momentu z původního směru o určitý úhel a také k synchronizaci precese všech protonů (obr. 2.24). Po skončení pulzu dochází postupně k návratu do původního stavu. Čas, za který k tomu dojde, je označován jako *relaxační čas*. Čas nutný k návratu vychýleného magnetického momentu je označován jako *relaxační čas T1*, „rozsynchronizování“ precese jako *relaxační čas T2*. Oba jsou závislé především na složení hmoty v okolí zkoumaných protonů. Tyto časy se při MR zobrazování neměří přímo, ale na jednotlivých sekvencích se porovnávají jejich rozdíly. Signál, který získáváme po sérii různých radiofrekvenčních pulzů, má stejný charakter – jde o elektromagnetické vlnění, které lze registrovat pomocí přijímacích cívek (v podstatě antén) a měřit jeho velikost. Série radiofrekvenčních pulzů nutná k získání měřitelného signálu je označována jako *sekvence*. K vysílání a přijímání signálů se používají buď stejné, nebo různé cívky. Abychom získali co nejkvalitnější obrazy, musí být cívky uloženy co nejbližší k vyšetřované oblasti – proto se pro vyšetření různých částí těla používají různé cívky.

Rezonanční frekvence protonů je závislá na intenzitě zevního magnetického pole. Jestliže toto pole pomocí



Obr. 2.23 Schéma spinu a precese. Rotací protonu kolem vlastní osy vzniká spin – magnetický moment (znázorněný jako vektor). Protony umístěné v zevním magnetickém poli vykonávají ještě další pohyb – precesi – vektor spinu se pohybuje po plášti pomyslného kužele, jehož osa je rovnoběžná se siločarami zevního magnetického pole.

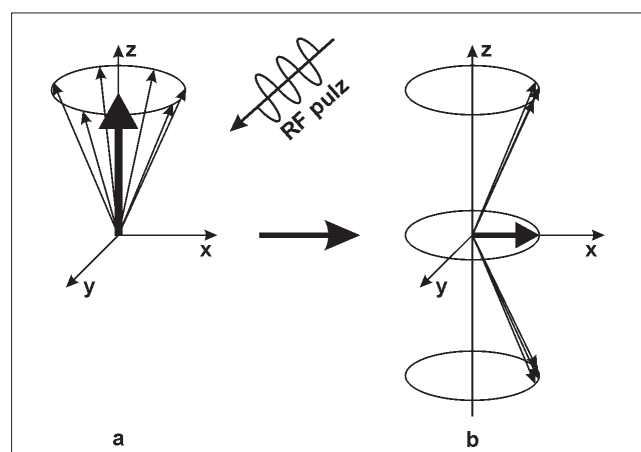
gradientových cívek vhodně upravíme, můžeme získat informaci o místě, ze kterého signál pochází (protony na jiných místech s touto frekvencí nerezonovaly, a tudíž nevydávají žádný signál).

V medicíně se používají různé techniky MR – nejčastěji je to *zobrazování magnetickou rezonancí (MRI – magnetic resonance imaging)*, lze provést i zobrazení cévního systému – *angiografii magnetickou rezonancí (MRA – magnetic resonance angiography)*. Dále se používá *spektroskopie magnetickou rezonancí (MRS – magnetic resonance spectroscopy)* a *funkční magnetická rezonance (fMRI)*.

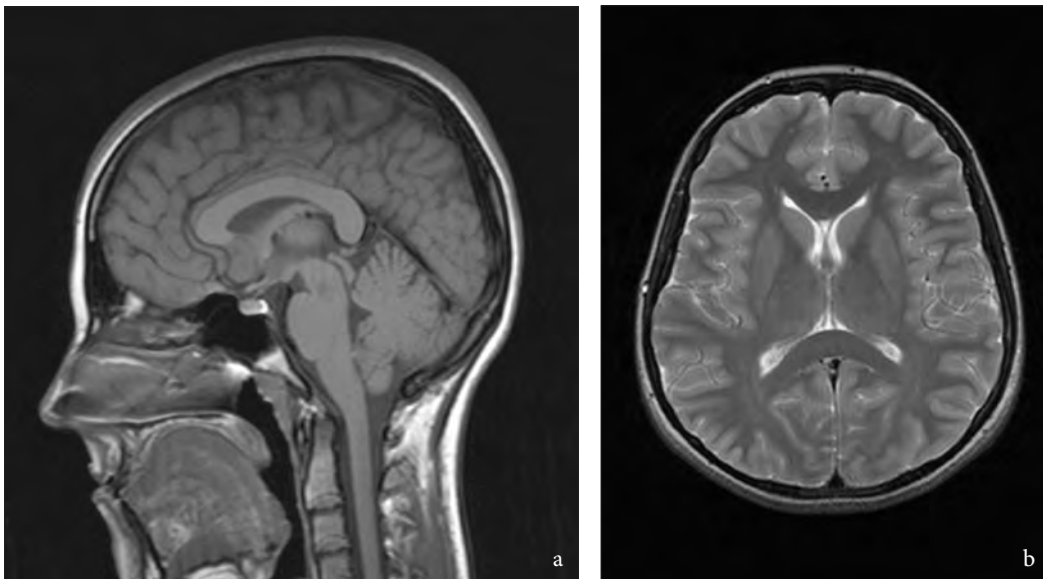
2.7.1 Zobrazování magnetickou rezonancí (MRI)

Při MRI se vychází z měření magnetických momentů jader atomů vodíku obsažených ve vodě (a některých tukcích). Informaci o ostatních tkáních získáváme nepřímou – již bylo zmíněno, že relaxační časy závisí především na složení okolních tkání (jinak se chovají protony vody v sousedství velkých molekul bílkovin, jinak jsou-li obklopeny pouze vodou).

Při vyšetření zhotovujeme obrazy vrstev pomocí různých typů sekvencí, které nás informují o rozdílech v relaxačních časech T1 nebo T2 (*T1-vážená sekvence, T2-vážená sekvence*) (obr. 2.25) nebo o množství protonů (*sekvence vážená podle protonové hustoty*). (Termínu vážená rozuměj ve smyslu poměřovaná, zdůrazněná.) Používají se i další typy sekvencí, které se rozdělují a jsou pojmenovány podle fyzikálních principů, jež jsou při nich využívány, nebo zobrazovány (např. difuzně-vážená sekvence – DWI zobrazuje difuzi molekul) (obr. 2.26a). Stále častěji se používají sekvence se selektivním potlačením signálu vody (např. sekvence FLAIR – jde



Obr. 2.24 Efekt radiofrekvenčního (RF) pulzu na protony uložené v zevním magnetickém poli. **a)** Stav před aplikací RF pulzu. Silná šipka znázorňuje výsledný vektor vznikající součtem dílčích vektorů jednotlivých protonů. **b)** Stav po aplikaci RF pulzu. RF pulz vede k synchronizaci precese jednotlivých protonů a také k přechodu některých protonů na vyšší energetickou hladinu – jejich vektory se obrátí. Tím dojde ke snížení nebo i vymizení vektoru v ose z a vzniku transverzální magnetizace v rovině x - y .



Obr. 2.25 a) T1-vážená sekvence. Zobrazen mozek v sagitální rovině. b) T2-vážená sekvence, transverzální rovina. Všimněte si rozdílů v intenzitě signálu stejných struktur na těchto typech sekvencí – např. tekutina (likvor) je na T1-vážené sekvenci hyposignální, na T2-vážené hypersignální.

o T2-váženou sekvensi s potlačením signálu vody) (obr. 2.26b) nebo tuku (bývají označovány FS – fat saturation, fat suppression) (obr. 2.27). Obrazy lze při MR vyšetření zhotovit v libovolné rovině.

V indikovaných případech se provádějí sekvence po aplikaci paramagnetické kontrastní látky (i když je na obrazech výsledek jejího podání podobný jako při aplikaci jodové KL při CT, princip je odlišný – „nevidíme“ přímo KL, ale změny v molekulách vody způsobené přítomností KL v jejich sousedství) (obr. 2.28).

Délka celého MR vyšetření se pohybuje řádově v desítkách minut (nejčastěji 20–30 minut) a závisí především na rychlosti přístroje a počtu zhotovených sekvencí.

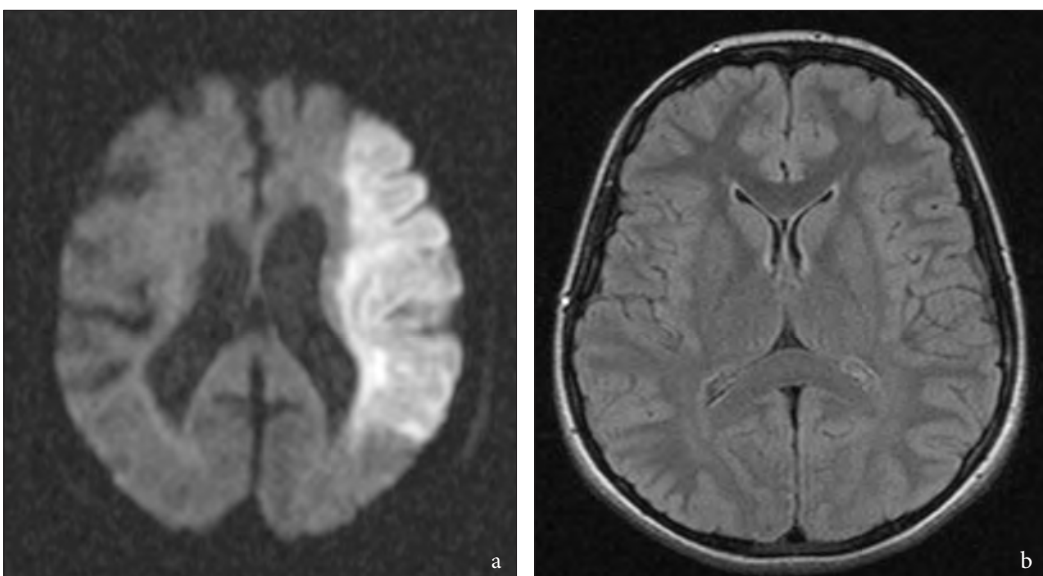
Při popisu MRI vyšetření používáme termíny vyjadřující *intenzitu signálu* pro daný typ sekvence – *hypersignální* nebo *hyperintenzní* (s vysokou intenzitou signálu – na obrazech světlý), *izosignální/izointenzní* (se stejnou intenzitou signálu), *hyposignální/hypointenzní* (s nízkou intenzitou signálu – na obrazech tmavý), *asignální* (bez signálu – na obrazech černý). Protože intenzita signálu

stejně tkáně je na různých typech sekvencí různá, je vždy potřeba uvést i typ sekvence. Podobně jako u ostatních zobrazovacích metod jsou termíny hypersignální a hypointenzní relativní, vztahují se k signálu normální tkáně.

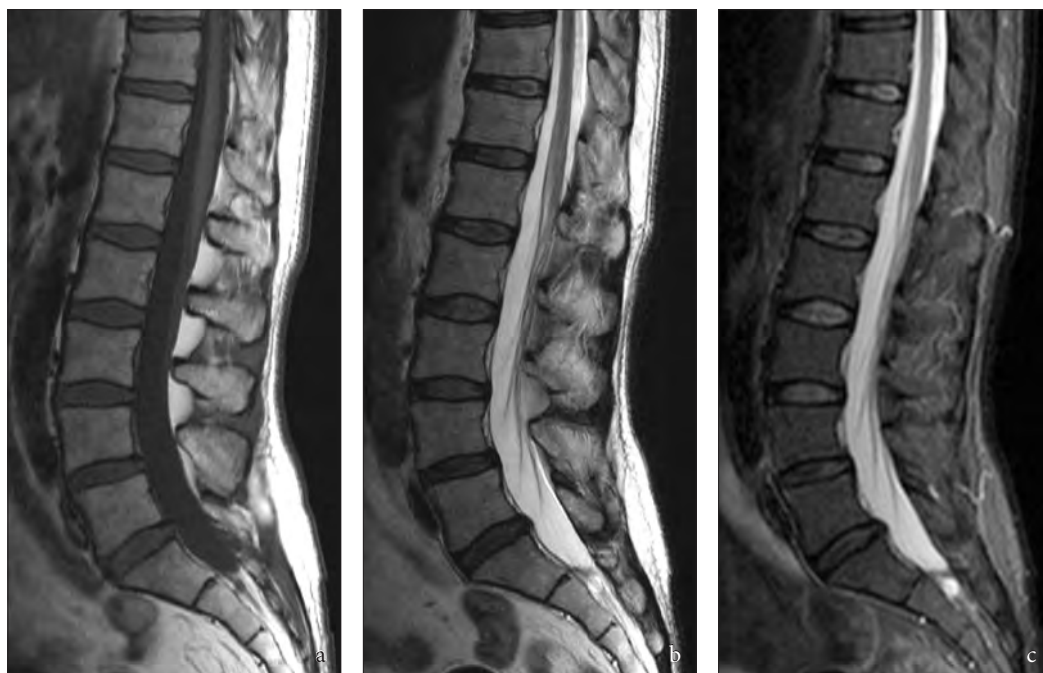
V tabulce 2.3 jsou uvedeny intenzity signálu na základních typech sekvencí, např. tekutina je na T2-vážené sekvenci hypersignální, na T1-vážené sekvenci hyposignální

Tab. 2.3 Intenzity signálu některých tkání v základních typech sekvencí.

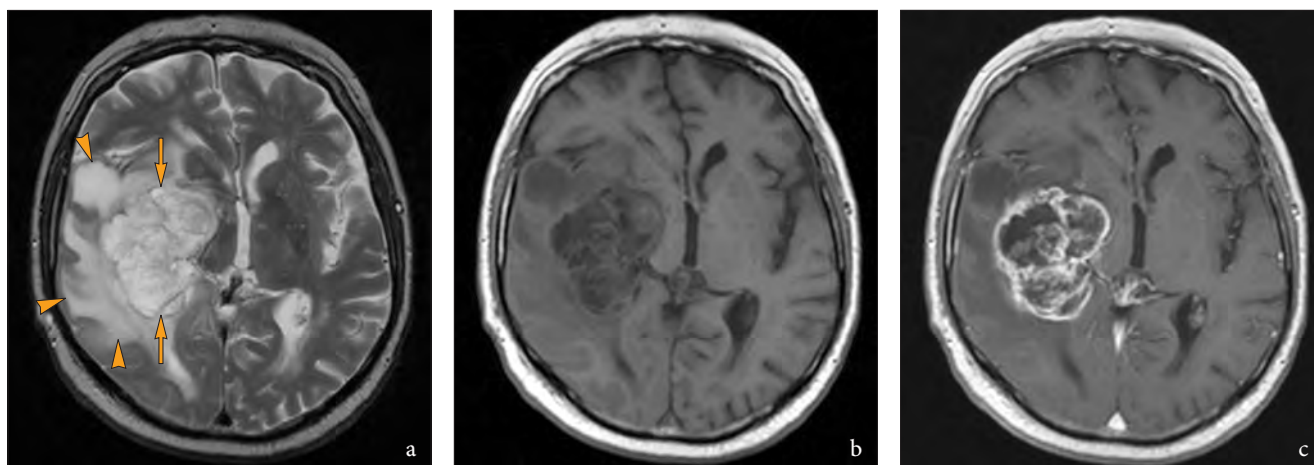
	T1-vážená sekvence	T2-vážená sekvence
tekutina	hyposignální	hypersignální
parenchymatózní orgány	střední intenzita	střední intenzita
tuková tkáň	vysoká intenzita	vysoká intenzita
kompaktní kost, vzdušná plíce	asignální	asignální



Obr. 2.26 a) DWI sekvence. Tato sekvence registruje difuzi molekul a její změny. Proto dovoluje např. velmi časně zachytit ischemické změny mozku – zde viditelné jako hypersignální oblast vlevo v povodí zásobovaném a. cerebri media. b) Sekvence FLAIR v transverzální rovině. Jde o T2-váženou sekvensi, na níž je cíleně potlačen signál vody. Srovnej s obr. 2.25b.



Obr. 2.27 Vyšetření lumbální páteře, sekvence v sagitální rovině u stejného pacienta. a) T1-vážená sekvence. b) T2-vážená sekvence. c) Sekvence STIR – jde o T2-váženou sekvensi s potlačením signálu tuku. Při srovnání se snímkem (b) je rozdíl nejlépe vidět na podkožním tuku a také v obratlových tělech, kde je u staršího pacienta také přítomno více tuku.



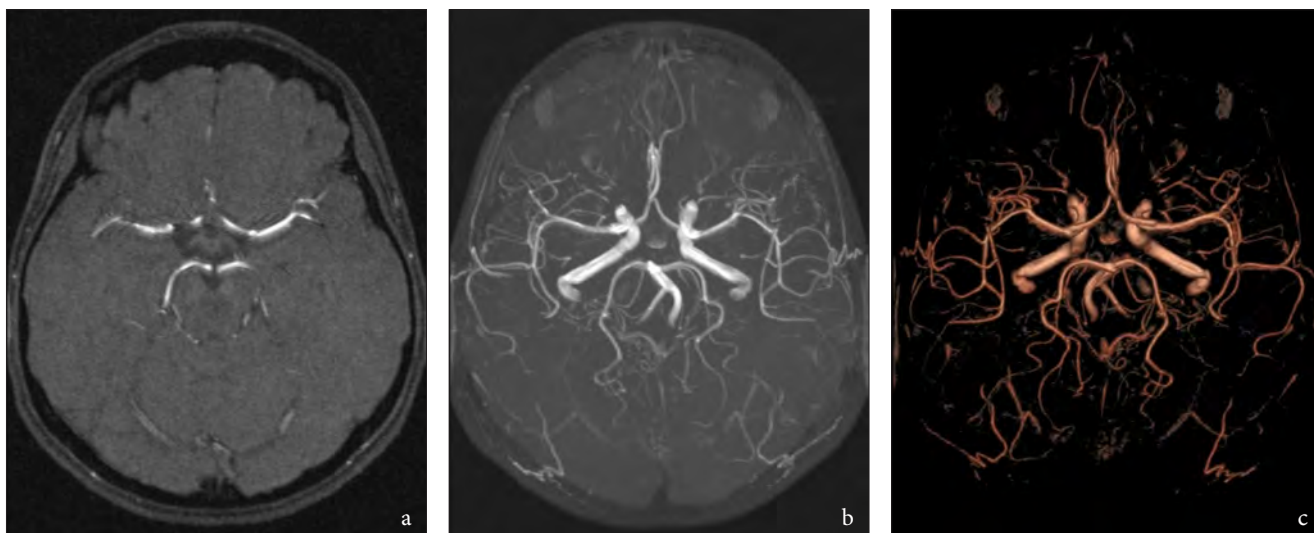
Obr. 2.28 Tumor v pravé hemisféře mozku (glioblastom) na různých sekvencích nativně a po aplikaci paramagnetické kontrastní látky. Skeny ve stejné rovině. a) T2-vážená sekvence nativně. Tumor (→) i okolní edém (▶) jsou při srovnání s normálním mozkem hypersignální. b) T1-vážená sekvence nativně. Tumor je převážně hyposignální, obsahuje nepravidelná septa, která jsou vzhledem k mozku izosignální. Okolní edém je hyposignální. c) T1-vážená sekvence po i.v. podání paramagnetické KL. Při srovnání s nativním obrazem na stejné sekvenci došlo k výraznému nasycení okrajů a sept v tumoru; jeho centrální části i okolní edém zůstaly hyposignální.

(obr. 2.25, 2.27, 2.28). (Signál tekutiny, např. likvoru, moči, žluči, lze orientačně využít k rozlišení jednotlivých typů sekvencí. Neplatí to však absolutně, protože signál tekutiny lze prakticky na všech sekvencích selektivně potlačit – příkladem je často používaná sekvence FLAIR – obr. 2.26b.) Tuk má na většině typů sekvencí vysokou intenzitu signálu, naopak kompaktní kost a vzdušná plíce jsou vždy asignální (obsahují minimální množství vody). Spongiózní kost je sice rovněž bez vody, ale tato oblast má na obrazech vyšší signál díky přítomné kostní dřeni, která obsahuje vodu i tuk (obr. 2.27). Na základních typech sekvencí jsou bez signálu i cévy, především tepny, čehož lze s výhodou využít např. pro jejich odlišení od lymfatických uzlin. Patologické procesy mají ve většině případů vyšší obsah vody než normální tkáně, a proto bývají

hypersignální na T2-vážených obrazech a hyposignální na T1-vážených obrazech (obr. 2.28).

Po aplikaci paramagnetické KL (viz kap. 3) se rozdílným způsobem sytí různé tkáně. Toho se využívá např. pro lepší rozlišení normálních a patologických procesů (obr. 2.28) nebo zvýraznění cévních struktur při MRA (viz dále).

Indikace a kontraindikace. MRI se nejčastěji používá v neuroradiologii – při zobrazování onemocnění mozku, míchy a páteře. Další skupinu indikací tvoří poruchy muskuloskeletálního systému, protože lze zobrazit všechny jeho součásti – kosti (především jejich měkkotkáňovou složku – dřev), vazy, svaly, šlachy, chrupavky, tekutinu i další struktury, např. menisky. Stále častěji jsou vyšetřovány i orgány dalších oblastí – pánve, břicha, hrudníku,



Obr. 2.29 MR angiografie. Nativní MRA intrakraniálních tepen zhotovená metodou time-of-flight. **a)** Jeden sken (z několika desítek), z nichž jsou rekonstruovány obrazy MRA. **b)** Rekonstrukce typu maximum intensity projection (MIP). **c)** Objemová 3D rekonstrukce.

krku. Při synchronizaci s EKG lze provést vyšetření srdce. Indikace k MRI a CT jsou do velké míry podobné. Jde zejména o průkaz nebo vyloučení přítomnosti ložiskových lézí a stážování tumorů.

Srovnáme-li CT a MRI vyšetření, patří k obecným výhodám MRI zejména nepoužívání ionizujícího záření, větší citlivost při zobrazování měkkých tkání (např. plaky roztroušené sklerózy, které nejsou ve většině případů na CT vůbec patrné, jsou dobře zobrazitelné), možnost zobrazení v libovolné rovině (výhodné např. při zobrazování páteře, kde v sagitální rovině máme přehled o rozsáhlejší oblasti – při použití MDCT přístrojů je tato výhoda jen relativní, protože lze zhotovit velmi kvalitní rekonstrukce v libovolné rovině). Výhodami CT jsou především větší dostupnost a rychlost vyšetření, nižší cena a volnější přístup k pacientovi (potřebný zejména u uměle ventilovaných nemocných). CT je přesnější v hodnocení plic, skeletu (jeho kostní matrix) a průkazu kalcifikací.

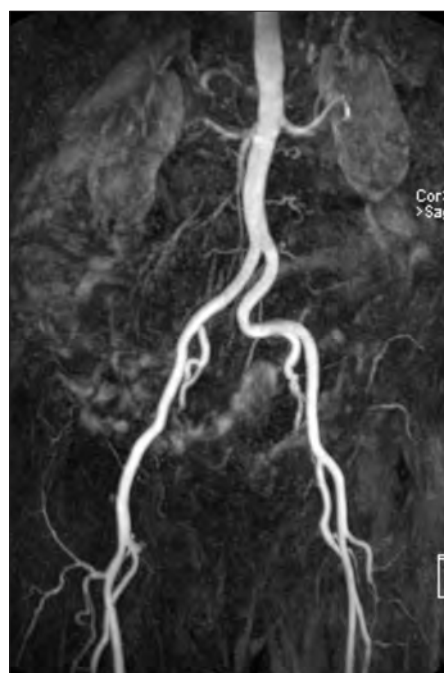
Absolutní kontraindikací MR vyšetření jsou elektronicky řízené implantáty, zejména kardiostimulátor nebo defibrilátor, ale např. i neurostimulátory, inzulinové pumpy, kochleární implantáty (tato kontraindikace však neplatí u MR-kompatibilních zařízení). Absolutní kontraindikací je kovové cizí těleso v oku. Relativními kontraindikacemi jsou přítomnost feromagnetických (kovových) materiálů v těle (hrozí jejich zahřátí, u drobnějších posun, ve svém okolí způsobují artefakty) a klaustrofobie. I když nebyly prokázány vedlejší účinky radiofrekvenčních pulzů a magnetických polí v intenzitách používaných v diagnostice, nedoporučuje se provádět MR vyšetření během těhotenství. (V indikovaných případech je ale prováděna MR plodu, obvykle k potvrzení přítomnosti vrozených vad.)

Na začátku roku 2014 pracovalo v České republice 67 MR přístrojů. I když indikace k akutnímu MR vyšetření jsou omezené (patří k nim zejména úrazy páteře, syndrom kaudy...), je ve velkých centrech zajištěna stálá dostupnost MR vyšetření.

2.7.2 Angiografie magnetickou rezonancí (MRA)

Termínem MRA je označována skupina technik umožňujících zobrazení cév pomocí MR. Část těchto technik využívá speciální sekvence, které registrují pohybující se útvary – v tomto případě tekoucí krev. Při jejich použití není nutná aplikace KL (obr. 2.29). Další část využívá výraznou změnu intenzity signálu při přítomnosti KL ve vyšší koncentraci. Při nich je nutná rychlá akvizice dat po aplikaci bolu KL intravenózně (obr. 2.30).

Při srovnání s angiografií je výhodou MRA neinvazivita (v některých oblastech lze provést i bez podání KL; pokud se KL podává, jde o aplikaci intravenózní), odpadá také použití ionizačního záření (což je výhodou i proti CTA).



Obr. 2.30 MR angiografie s použitím paramagnetické kontrastní látky. Zde zobrazena břišní aorta a její větve.

Při srovnání s angiografií má MRA nižší rozlišovací schopnost, je zde větší možnost vzniku artefaktů a ve většině případů nelze zobrazit selektivně jednotlivé tepny. Díky neustálému vývoji speciálních typů sekvencí a zvyšování kvality obrazů i jejich rekonstrukcí jsou však nedostatky MRA stále méně výrazné. I přes uvedené nedostatky již MRA a CTA nahradily ve většině diagnostických indikací angiografii. Ta je prováděna až těsně před intervenčními výkony nebo v případě nejasných nálezů na neinvazivních metodách (US, CTA, MRA).

Pomocí MRA je možné zobrazit tepny i žíly (samostatně nebo současně). Z tepen jsou vyšetřovány téměř všechny oblasti od tepen zásobujících mozek přes aortu a její odstupy až po tepny dolních končetin. Zobrazení koronárních tepen začíná postupně dosahovat kvality CT koronarografie. Ze žil jsou nejčastěji zobrazovány mozkové splavy, velké systémové žíly a portální oběh (obr. 2.31).

2.7.3 Spektroskopie magnetickou rezonancí (MRS)

Pomocí spektroskopie magnetickou rezonancí se provádí chemická analýza. Jako analytická metoda je prováděna *in vitro* (malé vzorky látek jsou analyzovány

ve speciálních MR přístrojích), lze ji však provést i *in vivo* na přístrojích používaných v klinické praxi. Nejčastěji se provádí tzv. „vodíková spektroskopie“ (^1H), ale studují se i jiné prvky s lichým protonovým číslem, např. izotop uhlíku ^{13}C , fluoru ^{19}F , sodíku ^{23}Na , fosforu ^{31}P . Výsledkem těchto studií jsou křivky, z nichž lze určit zastoupení látek a jejich množství ve vybrané oblasti (obr. 2.32).

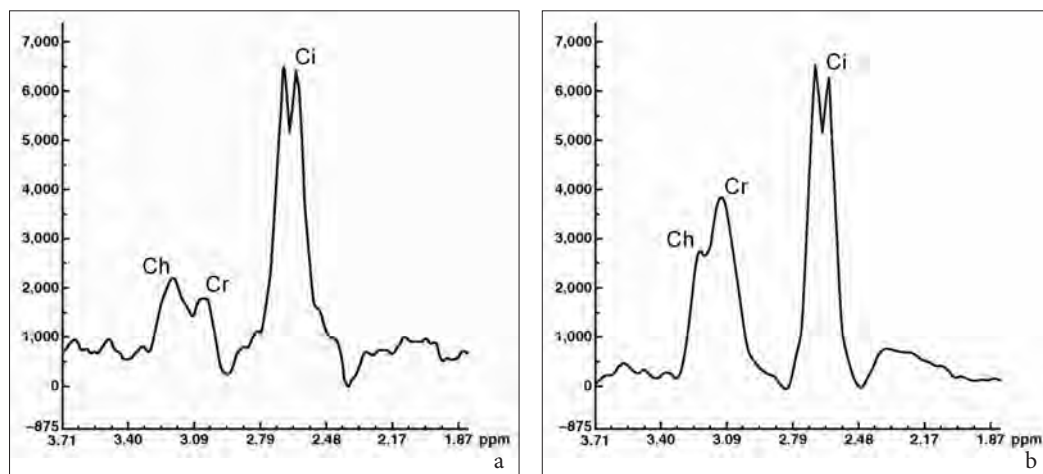
Do klinické praxe se MRS prosazuje zejména při hodnocení patologických procesů mozku, prostaty a myokardu.

2.7.4 Funkční magnetická rezonance (fMRI)

Při fMRI se využívá fyziologického poznatku, že aktivně pracující části mozku mají vyšší průtok krve než oblasti neaktivní. Zvýšený průtok krve lze registrovat pomocí speciálních rychlých sekvencí. fMRI slouží např. ke studiu mozkových funkcí u normálních osob, jejich změn při různých onemocněních mozku, k mapování významných funkčních center mozku při předoperačním plánování před resekci tumorů mozku nebo při kontrole účinnosti léků ovlivňujících mozkovou funkci (obr. 2.33).



Obr. 2.31 MR portografie. Vyšetření bylo provedeno po intravenózní aplikaci kontrastní látky na a) rekonstrukci maximum intensity projection (MIP) jsou zobrazeny hlavní větve portálního řečiště, zvětšená slezina, játra a také abdominální aorta a ilické tepny. b) Objemová 3D rekonstrukce – modře je znázorněno portální řečiště a ledviny, červeně aorta, játra a slezina. c) Objemová 3D rekonstrukce zobrazující pouze hlavní větve portálního řečiště, játra a slezinu.



Obr. 2.32 MR spektroskopie. a) Spektrum ^1H normální prostaty. b) Spektrum ^1H u karcinomu prostaty. V obou spektrech je patrný vysoký dvojitý peak citrátu (Ci). V nádorové tkáni je zřetelně zvýšený obsah cholinu (Ch) a kreatinu (Cr).