

# Obsah

<b>I. Systémy rentgenové výpočetní tomografie – CT RTG ZS</b>	<b>9</b>
1 Úvod . . . . .	9
2 Základní princip sběru obrazových dat CT RTG ZS . . . . .	10
2.1 Tomografická akvizice a souřadná soustava . . . . .	12
2.2 Akviziční kontrast . . . . .	12
2.3 RTG výpočetní tomografie – vymezení základních pojmů . . . . .	13
3 Signálový radiační tok CT RTG zobrazení . . . . .	14
4 Primární parametrické pole CT RTG ZS . . . . .	14
5 Modulace signálového radiačního toku CT RTG ZS . . . . .	15
5.1 Jev utvrzování svazku rtg záření a rekonstrukční zobrazení . . . . .	16
5.2 CT číslo – Hounsfieldova jednotka . . . . .	17
6 Základní skenovací módy a skenovací parametry CT RTG ZS . . . . .	18
7 Základní principy konstrukce CT RTG ZS . . . . .	20
7.1 Konvenční/standarní/sekvenční CT RTG ZS . . . . .	21
7.2 Helikální/spirální CT RTG ZS . . . . .	24
7.3 Subsekundové CT RTG ZS . . . . .	25
7.4 „Real-time“ CT RTG . . . . .	26
7.5 Vícevrstvé – „multi-slice“ CT RTG ZS . . . . .	27
7.6 Rychlé 3D CT RTG ZS (4D CT RTG ZS) . . . . .	29
7.7 Zpracování a detekce radiačního signálu CT RTG ZS 3. generace . . . . .	29
7.7.1 Akviziční geometrie . . . . .	29
7.7.2 Detekční geometrie . . . . .	32
7.7.3 Metody zvyšování vzorkovací frekvence snímané scény . . . . .	34
7.7.4 Komponenty detekční soustavy . . . . .	35
7.8 Datově-akviziční systém u CT RTG ZS 3. generace . . . . .	44
7.8.1 Komponenty datově-akviziční jednotky . . . . .	44
7.9 Rekonstrukce obrazu z projekcí – konvenční CT RTG ZS 3. generace . . . . .	45
7.9.1 Rekonstrukce obrazu z projekcí . . . . .	46
7.9.2 Kalibrace měřených obrazových dat . . . . .	53
7.10 Rekonstrukce obrazu „real-time“ CT RTG ZS . . . . .	54
7.11 Rekonstrukce obrazu při jednovrstvé helikální akvizici . . . . .	55
7.11.1 360° lineární interlace (360LI) . . . . .	56
7.11.2 180° lineární interpolace (180LI) . . . . .	58
7.11.3 Filtrovaná z-interpolace . . . . .	59
7.11.4 Fyzikální vlastnosti helikálních interpolačních metod pro jednovrstvou akvizici . . . . .	59
7.12 Rekonstrukce obrazu při vícevrstvé (multi-slice) helikální akvizici . . . . .	61
7.12.1 Vícevrstvá z-interpolace 180MLI . . . . .	61
7.12.2 Filtrovaná vícevrstvá z-interpolace 180MFI . . . . .	61
7.12.3 MUSCOT multi-slice helikální rekonstrukce . . . . .	62
7.12.4 Fyzikální vlastnosti MUSCOT interpolační metody pro dvou a čtyřvrstvou akvizici . . . . .	64
8 Artefakty CT RTG projekčně-rekonstrukčního zobrazení . . . . .	66
9 Kvantitativní hodnocení kvality CT RTG ZS . . . . .	72
9.1 Prostorová rozlišovací schopnost . . . . .	73
9.1.1 Prostorové rozlišení v zobrazované/skenované rovině $(x, y)$ . . . . .	73
9.1.2 Prostorové rozlišení v ose $z$ . . . . .	74
9.2 Šum . . . . .	76
9.2.1 Kvantový šum . . . . .	76
9.2.2 Elektronický šum . . . . .	77
9.2.3 Šum při helikální akvizici . . . . .	77
9.2.4 Homogenita šumu . . . . .	78
9.3 Energetická (kontrastní) rozlišovací schopnost . . . . .	79
9.3.1 Nízkokontrastní rozlišení . . . . .	80
9.3.2 CDC křivka . . . . .	80
9.4 Časová rozlišovací schopnost . . . . .	80

9.5	Homogenita obrazu . . . . .	82
9.6	Linearita přenosu obrazové souřadnice . . . . .	82
9.7	Linearita přenosu poziční souřadnice . . . . .	83
9.8	Aplikovaná dávka rtg záření . . . . .	83
9.8.1	Sekvenční jednovrstvé skenování . . . . .	83
9.8.2	Objemové jednovrstvé sekvenční a helikální skenování . . . . .	87
9.8.3	Specifika helikálního skenování . . . . .	88
9.8.4	Specifika multi-slice helikálního skenování . . . . .	88
9.8.5	Dávka při CT RTG fluoroskopii . . . . .	89
9.8.6	Perspektivní přístup k hodnocení efektivní dávky . . . . .	90
10	Faktory ovlivňující základní parametry CT RTG ZS . . . . .	90
10.1	Prostorové rozlišení v rovině $(x, y)$ . . . . .	91
10.1.1	Rekonstrukční obrazová matrice a zorné pole . . . . .	91
10.2	Prostorové rozlišení v ose $z$ . . . . .	92
10.2.1	Zobrazení lézí . . . . .	93
10.2.2	Vliv jmenovité tloušťky vrstvy a rekonstrukčního inkrementu . . . . .	93
10.2.3	Izotropická akvizice . . . . .	94
10.3	Šum . . . . .	95
10.3.1	Akvizice s modulací anodového proudu rentgenky . . . . .	96
10.4	Energetické (kontrastní) rozlišení . . . . .	97
11	Zpracování a prezentace obrazů u CT RTG ZS . . . . .	98
11.1	Základní metody číslicového zpracování a hodnocení obrazu u CT RTG ZS . . . . .	99
11.2	2D zobrazení . . . . .	100
11.3	3D zobrazení . . . . .	100
11.3.1	Projekční zobrazení . . . . .	100
11.3.2	Zobrazení povrchu – „surface rendering“ . . . . .	101
11.3.3	Zobrazení objemu – „volume rendering“ . . . . .	102
11.3.4	Virtuální endoskopie . . . . .	102
<b>II.</b>	<b>Zobrazovací systémy magnetické rezonance – MR ZS</b>	<b>105</b>
12	Úvod . . . . .	105
12.1	Základní specifika CT RTG a MR zobrazení . . . . .	105
13	Základní princip sběru obrazových dat MR ZS . . . . .	105
13.1	MR tomografie – vymezení základních pojmů . . . . .	107
14	Signálový tok MR zobrazení . . . . .	107
15	Primární parametrické pole MR ZS . . . . .	107
16	Fyzikální základy jevu magnetické rezonance . . . . .	108
16.1	Kvantový model – energetická interpretace . . . . .	108
16.1.1	Osamocený proton bez přítomnosti stacionárního magnetického pole . . . . .	108
16.1.2	Osamocený proton ve stacionárním magnetickém poli $B_0$ . . . . .	109
16.1.3	Skupina protonů bez přítomnosti magnetického pole $B_0$ . . . . .	110
16.1.4	Skupina protonů v magnetickém poli $B_0$ . . . . .	110
16.2	Makroskopický fyzikální model – Blochova interpretace . . . . .	112
16.2.1	Osamocený proton v magnetickém poli $B_0$ . . . . .	112
16.2.2	Skupina protonů v magnetickém poli $B_0$ . . . . .	112
16.2.3	Vektorová reprezentace $RF$ signálu . . . . .	113
16.2.4	Přenos energie mezi skupinou jader v poli $B_0$ a vnějším $RF$ polem $B_1$ . . . . .	113
16.2.5	Prezentace jevu MR v laboratorní a rotační soustavě . . . . .	114
16.3	Relaxační mechanismy jevu MR . . . . .	114
16.3.1	Spin-mřížková interakce . . . . .	115
16.3.2	Spin-spinová interakce . . . . .	116
16.3.3	Celková relaxace . . . . .	117
16.4	Chemický posuv . . . . .	118
16.5	Volně indukovaný signál $FID$ . . . . .	119
16.6	Blochova rovnice . . . . .	121
17	Základní měřicí techniky – pulzní sekvence . . . . .	121
17.1	$SR$ resp. $STE$ metoda buzení . . . . .	121
17.2	$IR$ metoda buzení . . . . .	124

17.3	<i>SE</i> metoda buzení a její modifikace	125
17.3.1	<i>CPMG SE</i> sekvence	126
17.3.2	<i>IR SE</i> sekvence	127
17.3.3	<i>Carr-Purcell</i> ova sekvence	127
17.4	Gradientní metoda buzení <i>GRE</i>	127
17.4.1	Základní rozdíl mezi <i>SE</i> a <i>GRE</i>	130
18	Modulace signálovu MR ZS	130
18.1	Kontrast MR zobrazení	130
18.2	Akviziční kontrast při měření magnetizace	131
18.3	Tkáňový kontrast při měření magnetizace	131
18.3.1	$T_1$ relaxační parametr	131
18.3.2	$T_2$ relaxační parametr	132
18.4	Obrazový kontrast při měření magnetizace	133
18.5	Akviziční kontrast při <i>SR</i> metodě měření magnetizace	133
18.6	Akviziční kontrast při <i>IR</i> metodě měření magnetizace	133
18.7	Akviziční kontrast při <i>SE</i> metodě měření magnetizace	134
18.8	Akviziční kontrast při <i>GRE</i> metodě měření magnetizace	134
18.9	Zvýšení akvizičního kontrastu použitím kontrastních látek	135
19	Fyzikální základ MR spektroskopie	136
19.1	Signály MR spektroskopie	136
20	Základní principy prostorového kódování jevu magnetické rezonance	137
20.1	Selekce tomografické roviny	137
20.1.1	Selektivní excitace tomografické roviny	137
20.2	Princip prostorového kódování tomoroviny	139
21	Základní metody sběru obrazových dat a rekonstrukce obrazu	140
21.1	Princip projekčně rekonstrukční metody	140
21.2	Princip <i>2DFT</i> rekonstrukční metody	142
21.3	Fyzikální interpretace <i>2DFT</i> rekonstrukční metody	146
21.3.1	Selektivní excitace tomoroviny	146
21.3.2	Frekvenční kódování	146
21.3.3	Fázové kódování	146
21.3.4	Fázové a frekvenční kódování	146
21.4	2D prostory MR zobrazení	147
21.4.1	2D datový prostor	147
21.4.2	2D obrazový prostor	147
21.4.3	2D datový prostor a aliasing	147
21.4.4	Zorné pole	149
21.4.5	2D $k$ -prostor	150
21.4.6	Vzájemný vztah mezi datovým prostorem, $k$ -prostorem a obrazem	151
21.5	Způsoby detekce MR signálu a formy prezentace MR obrazu	153
21.5.1	Symetrie 2D $k$ -prostoru	154
22	Techniky zkracování akviziční doby u <i>2DFT</i> rekonstrukce	155
22.1	$1/2NEX$	155
22.2	$1/4NEX$	156
22.3	„Fractional echo“	156
22.4	„Fractional $RF$ “	156
22.5	Redukce doby vzorkování	156
23	Vícevrstvé techniky	157
23.1	Akvizice vrstva po vrstvě	157
23.2	<i>3DFT</i> techniky	158
23.2.1	Vzájemný vztah mezi datovým prostorem, $k$ -prostorem a obrazem u <i>3DFT</i>	160
24	Techniky potlačení zobrazení vybraných tkání	160
24.1	Technika <i>IR</i>	160
24.2	Techniky chemické (spektrální) presaturace	161
24.3	Techniky prostorové presaturace	162
25	Rychlé metody MR zobrazení	162
25.1	Standardní rychlé metody MR zobrazení	162
25.1.1	Rychlé spin-echo zobrazení <i>FSE</i>	162

25.1.2	Rychlé gradient-echo zobrazení <i>GRASS/FISP</i> . . . . .	165
25.2	Ultra-rychlé <i>GRE</i> techniky . . . . .	167
25.2.1	„Gradient single-shot“ zobrazení . . . . .	168
25.2.2	„Multiple-shot“ techniky zobrazení . . . . .	170
26	Fenomén průtoku . . . . .	171
26.1	Základní typy proudění krve . . . . .	172
26.2	Základní vlivy proudění krve na MR signál . . . . .	172
26.2.1	„Time of flight“ jevy ( <i>TOF</i> ) . . . . .	173
26.3	MR angiografie <i>MRA</i> . . . . .	176
27	Artefakty MR zobrazení . . . . .	176
27.1	Aliasing artefakt . . . . .	177
27.2	Artefakt vlivem chemického posuvu . . . . .	177
27.3	Artefakt vlivem Gibbsonova jevu . . . . .	178
27.4	„Partial volume“ artefakt . . . . .	178
27.5	Pohybový artefakt . . . . .	179
27.5.1	Periodický pohyb . . . . .	179
27.5.2	Náhodný pohyb . . . . .	179
27.6	Artefakty vlivem <i>RF</i> signálu . . . . .	179
27.6.1	Přeslechy mezi vrstvami . . . . .	179
27.6.2	<i>FID</i> /„Zipper“ artefakt . . . . .	180
27.6.3	Artefakt vlivem šumu <i>RF</i> . . . . .	180
27.7	Artefakty vlivem externího magnetického pole . . . . .	180
27.8	Artefakty vlivem susceptibility . . . . .	180
27.9	Artefakty vlivem průtoku . . . . .	180
27.10	Artefakty vlivem gradientních polí . . . . .	183
27.11	Artefakty vlivem chybovosti dat . . . . .	183
28	Základní principy konstrukce MR ZS . . . . .	183
28.1	Nejdůležitější komponenty MR ZS . . . . .	185
28.1.1	Hlavní magnet . . . . .	185
28.1.2	Gradientní systém . . . . .	188
28.1.3	Radiofrekvenční systém . . . . .	190
28.1.4	Radiofrekvenční cívky a rezonátory . . . . .	192
29	<i>RF</i> stínění . . . . .	198
30	Kvantitativní hodnocení kvality MR ZS . . . . .	199
30.1	Poměr SNR . . . . .	199
30.1.1	Energetická rozlišovací schopnost – poměr kontrastu a šumu <i>CNR</i> . . . . .	202
30.2	Prostorová rozlišovací schopnost . . . . .	202
30.2.1	Pokrytí . . . . .	202
30.3	„Resolving power“ . . . . .	202
30.4	Časová rozlišovací schopnost . . . . .	203
31	Faktory ovlivňující vlastnosti MR zobrazení . . . . .	204
32	Požadavky na bezpečnost MRI ZS . . . . .	204
32.1	Vliv velkých indukcí statického pole . . . . .	205
32.2	Vliv proměnných magnetických polí . . . . .	205
32.3	Vliv elektromagnetického pole <i>RF</i> impulzů . . . . .	205
32.3.1	Specifická míra absorpce <i>SAR</i> . . . . .	205
32.4	Akustický hluk . . . . .	206
32.5	Kontraindikace aplikace MR zobrazení . . . . .	206
32.5.1	Feromagnetické materiály v těle pacienta . . . . .	206
32.5.2	Elektronická zařízení v těle pacienta . . . . .	206