

診療放射線技師 国家試験対策全科

第14版

編著

京都医療科学大学名誉教授

西谷源展

京都医療科学大学学長

遠藤啓吾

京都医療科学大学講師

赤澤博之

執筆者一覧(執筆順)

遠藤啓吾	京都医療科学大学 学長
柴田登志也	京都医療科学大学医療科学部放射線技術学科 教授
渡邊祐司	京都医療科学大学医療科学部放射線技術学科 教授
佐藤芳文	京都医療科学大学 名誉教授
澤田 晃	京都医療科学大学医療科学部放射線技術学科 教授
屋木祐亮	京都医療科学大学医療科学部放射線技術学科 助教
齊藤睦弘	京都医療科学大学 名誉教授
佐藤敏幸	京都医療科学大学医療科学部放射線技術学科 教授
赤澤博之	京都医療科学大学医療科学部放射線技術学科 講師
笠井俊文	京都医療科学大学医療科学部放射線技術学科 教授
向井孝夫	京都医療科学大学 名誉教授
木村千里	元帝京大学医療技術学部診療放射線学科 講師
石井里枝	徳島文理大学保健福祉学部診療放射線学科 准教授
井戸靖司	中部国際医療センター放射線技術部 統括部長
小田敝弘	京都医療科学大学 名誉教授
桑原奈津美	京都医療科学大学医療科学部放射線技術学科 助教
小嶋健太郎	京都府立医科大学眼科学教室 学内講師
杜下淳次	九州大学大学院医学研究院保健学部門 教授
西谷源展	京都医療科学大学 名誉教授
田畑慶人	京都医療科学大学医療科学部放射線技術学科 准教授
石垣陸太	京都医療科学大学医療科学部放射線技術学科 准教授
山田勝彦	京都医療技術短期大学 名誉教授
松本圭一	京都医療科学大学医療科学部放射線技術学科 准教授
霜村康平	京都医療科学大学医療科学部放射線技術学科 講師
矢野慎輔	京都大学医学部附属病院放射線部 主任診療放射線技師
河村 正	京都医療科学大学 名誉教授
安井啓祐	藤田医科大学医療科学部放射線学科 講師
秋田和彦	大阪医科薬科大学関西 BNCT 共同医療センター 技師長
大野和子	京都医療科学大学医療科学部放射線技術学科 教授
松尾 悟	京都医療科学大学医療科学部放射線技術学科 教授

まえがき

診療放射線技師法は診療エックス線技師法として昭和26年6月に制定され、翌年の昭和27年(1952年)4月に施行されている。昭和43年(1968年)に現在の診療放射線技師法となっている。診療放射線技師法は制定されてすでに70年という歴史を刻んできた。その間に医療における診療放射線技術は大きく進歩し、学問として学ぶ分野が広くなりこの資格を得るための勉強も大きく変化してきている。

私は書籍の歴史を知るのに書籍の最終ページに掲載されている奥付を見る。これによっていつごろから発行され、どのように改訂されているかを知る。本書は昭和53年(1978年)に初版が発行されており、44年目となる。その間には国家試験科目の増加や内容の変化に対応できるように著者の選定など改訂のたびに検討をしている。内容については常に診療放射線技師国家試験出題基準に合致したものであることを念頭にして執筆している。

近年の国家試験の合格率は平成30年(第71回)79.2%、令和2年(第72回)82.3%、令和3年(第73回)74.0%となっている。合格率から見れば決して高い合格率ではない。本来であれば所定の科目を履修しておればすべての受験者が合格できると思われるが、不合格者が出ることは残念でならない。

今回改訂の本書は、診療放射線技師国家試験出題基準に準拠して執筆している。また、令和3年改正された「診療放射線技師法」に対応している。そのほかにBNCTなどの新しい技術やここ数年医療界で問題となっている新型コロナウイルスについても記述している。

次年度の受験生については、国家試験対策として取り組むため2～3か月間の短期間ではなく1年間を使用して、これまでの勉強のまとめとして使用していただきたい。また将来職場に入職したときの参考書としても永く使用してほしい。在学生については各科目の授業の参考やまとめとして日頃から利用していただければ幸いである。

読者の学生諸君には診療放射線技師を目指して勉強に励み、立派な技師として成長されることを期待している。

最後になりましたが、本書の出版並びに編集にあたり並々ならぬご尽力を賜りました金芳堂の市井輝和氏に対し、深甚なる謝意を表します。

2022年1月27日

第14版にあたって 編者しるす

目 次

1 章 基礎医学大要

1 脳の構造と機能-1 (遠藤啓吾)	2
2 脳の構造と機能-2 (遠藤啓吾)	4
3 脳血管と脳血流 (遠藤啓吾)	5
4 脳の病気 (遠藤啓吾)	6
5 脊椎と脊髄 (遠藤啓吾)	9
6 末梢神経 (遠藤啓吾)	10
7 自律神経系；交感神経と副交感神経 (遠藤啓吾)	11
8 骨・頭部・脊椎 (遠藤啓吾)	12
9 上肢・骨盤・下肢の骨 (遠藤啓吾)	15
10 骨の病気 (遠藤啓吾)	17
11 関節 (遠藤啓吾)	19
12 関節の病気 (遠藤啓吾)	21
13 肺・呼吸器の解剖 (遠藤啓吾)	22
14 肺の病気 (遠藤啓吾)	25
15 心臓の解剖・機能と病気 (遠藤啓吾)	27
16 大血管の解剖と病気 (遠藤啓吾)	30
17 口腔・咽頭・喉頭 (遠藤啓吾)	32
18 食道・胃の解剖と機能 (遠藤啓吾)	33
19 胃の病気 (遠藤啓吾)	34
20 小腸・大腸の解剖と機能 (遠藤啓吾)	35
21 大腸の病気 (遠藤啓吾)	36
22 肝臓・胆嚢の解剖と働き (遠藤啓吾)	37
23 肝臓・胆嚢の病気 (遠藤啓吾)	39
24 脾臓・脾臓 (遠藤啓吾)	41
25 腎臓の解剖と機能 (遠藤啓吾)	43
26 腎臓・膀胱の病気 (遠藤啓吾)	44
27 生殖器 (遠藤啓吾)	45
28 妊娠 (遠藤啓吾)	48
29 内分泌-1 脳下垂体・副腎・糖尿病 (遠藤啓吾)	49
30 内分泌-2 甲状腺・副甲状腺 (遠藤啓吾)	52
31 血液・造血器・リンパ系 (遠藤啓吾)	54
32 血液の病気 (遠藤啓吾)	56
33 免疫による生体の防御機能 (遠藤啓吾)	57
34 炎症・感染症 (遠藤啓吾)	58

35 「がん」とは (遠藤啓吾)	60
36 生活習慣病 (遠藤啓吾)	61
37 疾病予防とがん検診 (遠藤啓吾)	62
38 チーム医療 (遠藤啓吾)	63
39 衛生学・公衆衛生学 (柴田登志也)	64
40 覚え方 (遠藤啓吾)	67

2 章 放射線生物学 (渡邊祐司・佐藤芳文)

1 放射線の種類と電離作用	70
2 放射線の標的としての細胞	74
3 放射線の標的としての DNA	76
4 放射線による細胞死と細胞生存率曲線	79
5 放射線の組織および臓器に及ぼす影響	83
6 全身被ばくによる影響	86
7 確定的影響と確率的影響	87
8 胎児の放射線影響	89
9 放射線の生物効果を修飾する要因	90
10 放射線の生物効果と放射線治療	91

3 章 放射線物理学 (澤田 晃)

1 単位と定数	96
2 波の性質	97
3 原子の構造と性質	99
4 原子核の構造と性質	102
5 原子核の壊変	103
6 核壊変の指数法則	106
7 自然放射性元素	107
8 人工放射性元素	108
9 制動X線の発生と性質	109
10 特性X線の発生と性質	111
11 光子 (X線および γ 線) と物質の相互作用	112
12 光子と物質の相互作用係数 (吸収係数等)	114
13 光子線 (X線および γ 線) の減弱	116
14 荷電粒子 (電子 (β 線), 重荷電粒子) と物質の相互作用	117

15	中性子と物質の相互作用	119	2	医用X線管 (赤澤博之)	178
16	原子核反応	121	3	X線管の動作特性と故障 (赤澤博之)	181

4章 放射化学 (屋木祐亮・齊藤睦弘)

1	元素と周期表	124	7	X線管の定格と許容負荷 (赤澤博之)	189
2	原子核反応と放射性核種の製造	126	8	電源設備 (赤澤博之)	190
3	放射性核種の製造	127	9	X線発生装置に関する JIS 規格 (赤澤博之)	191
4	放射平衡	130	10	自動露出制御装置 (赤澤博之)	192
5	放射性核種の分離法-1-共沈法, 溶媒抽出法, イオン交換法, ミルキングー	131	11	X線 TV システム (赤澤博之)	193
6	放射性核種の分離法-2-クロマトグラフィー, その他の方法-	133	12	コンピューテッド・ラジオグラフィ (CR) 装置 (赤澤博之)	195
7	放射性標識化合物	136	13	X線平面検出器 (フラットパネルディテクタ, FPD) (赤澤博之)	196
8	放射性同位体の化学分析への利用	138	14	特殊撮影装置 (赤澤博之)	197
9	放射性同位元素のトレーサー利用	140	15	CT の概要と装置構成 (笠井俊文)	199

5章 医用工学 (佐藤敏幸)

1	電磁気の単位	142	16	CT のデータ収集方法 (笠井俊文)	201
2	直流回路	143	17	CT の画像再構成と性能評価 (笠井俊文)	203
3	直流の測定回路	145	18	骨密度測定装置 (向井孝夫)	206
4	静電気	148			
5	電流と磁気	150			
6	電流と磁界の相互作用	152			
7	電磁誘導	153			
8	正弦波交流	155			
9	交流回路	156			
10	三相交流	159			
11	過渡現象	160			
12	半導体-1	162			
13	半導体-2	164			
14	集積回路 (IC)	166			
15	電子回路-1	167			
16	電子回路-2	169			
17	電磁気現象と生体	172			
18	電気計器	173			
19	諸効果・法則と単位	174			

6章 診療画像機器学 (X線)

1	医用X線装置の構成 (赤澤博之)	176
---	------------------	-----

7章 X線撮影技術学

1	画像診断における診療放射線技師の役割と義務 (木村千里)	210
2	X線撮影の基本 (木村千里)	211
3	X線撮影 (検査) の種類 (木村千里)	212
4	体位と撮影方向 (木村千里)	213
5	撮影用具と必要な条件 (木村千里)	216
6	胸部・腹部単純撮影 (木村千里)	218
7	頭部単純撮影 (木村千里)	222
8	脊椎単純撮影 (木村千里)	227
9	仙骨, 尾骨, 骨盤単純撮影 (木村千里)	230
10	胸郭単純撮影 (木村千里)	232
11	上肢単純撮影 (木村千里)	233
12	下肢単純撮影 (木村千里)	238
13	股関節, 乳幼児股関節単純撮影 (木村千里)	242
14	産婦人科領域の腹部単純撮影, 骨盤計測撮影 (木村千里)	244
15	マンモグラフィ (石井里枝)	245
16	消化管造影検査 (井戸靖司)	248

17	その他のX線造影検査 (井戸靖司)	253
18	血管造影・IVR (インターベンショナルラジオロジー) (柴田登志也)	256
19	X線CT検査 (小田敏弘)	260

8章 診療画像検査学

1	MRIの原理 (笠井俊文)	266
2	MRI装置の構成 (笠井俊文)	269
3	MRIの撮像原理 (笠井俊文)	271
4	MRIの撮像シーケンス (パルスシーケンス) (笠井俊文)	274
5	アーチファクト (笠井俊文)	280
6	MRIの造影剤と検査 (笠井俊文)	282
7	MRI検査の実際 (笠井俊文)	284
8	MRIの安全性 (笠井俊文)	291
9	超音波画像診断装置 (桑原奈津美)	293
10	画像表示モードと臨床的活用 (桑原奈津美)	296
11	超音波分野における関係式 (桑原奈津美)	297
12	超音波検査の実際 (桑原奈津美)	298
13	眼底検査法 (小嶋健太郎)	301

9章 画像工学

1	アナログX線画像 (杜下淳次)	304
2	現像処理 (西谷源展)	307
3	ドライイメージャ (ドライプリンタ) (西谷源展)	309
4	写真における諸効果 (西谷源展)	311
5	画像のデジタル化 (杜下淳次)	312
6	デジタルX線画像 (杜下淳次)	314
7	入出力変換特性 (杜下淳次)	316
8	鮮鋭度 (解像特性) (杜下淳次)	318
9	粒状性 (ノイズ特性) (杜下淳次)	321
10	画像の主観的な評価 (杜下淳次)	323
11	デジタル画像処理 (杜下淳次)	324

10章 医療画像情報学

1	論理代数と情報の表現 (田畑慶人)	328
---	-------------------	-----

2	論理回路 (田畑慶人)	329
3	コンピュータの基礎 (田畑慶人)	331
4	医療情報 (石垣陸太)	333

11章 放射線計測学 (山田勝彦)

1	放射線の単位と用語	338
2	照射線量の測定	341
3	線量計の校正と補正	344
4	吸収線量の測定	345
5	固体線量計	347
6	化学線量計	349
7	GM計数管	350
8	比例計数管	351
9	シンチレーション検出器	352
10	半導体検出器	355
11	X線エネルギーの測定	356
12	γ 線エネルギーの測定	357
13	α , β 線エネルギーの測定	358
14	放射能の絶対測定と相対測定	359
15	中性子の測定	360
16	計数の統計処理	362
17	被ばく線量測定器	363
18	放射線環境測定器	366
19	測定に必要な計算例題	369

12章 核医学検査技術学

1	診療放射線技師の役割と義務 (松本圭一)	372
2	放射性医薬品 (松本圭一)	373
3	主な放射性医薬品の特性と用途 (松本圭一)	375
4	核医学測定装置 (ガンマカメラ) (松本圭一)	377
5	核医学測定装置 (SPECT装置) (松本圭一)	380
6	核医学測定装置 (PET装置) (松本圭一)	382
7	試料測定装置 (松本圭一)	385
8	その他の測定装置 (松本圭一)	386
9	体外計測検査法 (松本圭一)	388
10	脳神経シンチグラフィ (松本圭一)	390
11	甲状腺・副甲状腺シンチグラフィ	

	(松本圭一)	392		(霜村康平・矢野慎輔)	446
12	肺シンチグラフィ (松本圭一)	394	17	放射線療法 (Radiation Therapy ; RT)	
13	心機能・心筋シンチグラフィ (松本圭一)	395		(渡邊祐司・河村 正)	448
14	肝シンチグラフィ (松本圭一)	398	18	陽子線治療・重粒子線治療	
15	肝胆道シンチグラフィ, その他の消化器系 検査 (松本圭一)	399		(安井啓祐・河村 正)	456
16	腎シンチグラフィ (松本圭一)	400	19	ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT)	
17	骨・関節シンチグラフィ (松本圭一)	401		(秋田和彦・河村 正)	460
18	副腎シンチグラフィ, RI アンギオグラフ イ (松本圭一)	402	20	放射線治療における有害事象	
19	腫瘍シンチグラフィ (松本圭一)	403		(渡邊祐司・矢野慎輔)	462
20	PET 検査 (松本圭一)	405			
21	放射性同位元素 (RI) 内用療法 (遠藤啓吾)	408			

13章 放射線治療技術学

1	診療放射線技師の役割と義務 (霜村康平・矢野慎輔)	412
2	放射線治療学総論 (渡邊祐司・矢野慎輔)	413
3	集学的治療 (渡邊祐司・矢野慎輔)	419
4	時間的線量配分 (渡邊祐司・矢野慎輔)	422
5	各種放射線とその特徴 (霜村康平・矢野慎輔)	424
6	直線加速装置 (霜村康平・矢野慎輔)	425
7	高精度放射線治療装置 (IMRT, 定位放射 線治療装置) (霜村康平・矢野慎輔)	427
8	治療計画装置 (霜村康平・矢野慎輔)	430
9	放射線治療の補助器具・装置 (霜村康平・矢野慎輔)	432
10	密封小線源治療装置 (霜村康平・矢野慎輔)	435
11	放射線治療の保守管理 (霜村康平・矢野慎輔)	437
12	出力線量の測定法 (霜村康平・矢野慎輔)	439
13	線量計算に必要な因子 (霜村康平・矢野慎輔)	441
14	投与線量の空間分布 (霜村康平・矢野慎輔)	443
15	放射線治療の実際の流れ (霜村康平・矢野慎輔)	444
16	外部照射術式と線量分布	

17	放射線療法 (Radiation Therapy ; RT)	
	(渡邊祐司・河村 正)	448
18	陽子線治療・重粒子線治療	
	(安井啓祐・河村 正)	456
19	ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT)	
	(秋田和彦・河村 正)	460
20	放射線治療における有害事象	
	(渡邊祐司・矢野慎輔)	462

14章 医療安全管理学

1	医療におけるリスクマネジメント (大野和子・柴田登志也)	466
2	造影剤と医療安全 (大野和子・井戸靖司)	468
3	医療における健康被害患者側 (~サイド) (大野和子・柴田登志也)	470

15章 放射線安全管理学

1	ICRP の放射線防護の基本概念 (松尾 悟・佐藤芳文)	474
2	診療放射線技師法 (西谷源展)	476
3	届出 (医療法施行規則) (西谷源展)	479
4	X線装置の防護及びX線の遮へい計算 (医療法施行規則) (西谷源展)	481
5	診療用高エネルギー放射線発生装置等の 防護及び使用室の遮へい計算 (医療法施行規則) (西谷源展)	484
6	装置, 器具の使用室 (医療法施行規則) (西谷源展)	486
7	診療用放射性同位元素使用施設及び遮へ い計算等 (医療法施行規則) (西谷源展)	487
8	管理者の義務 (医療法施行規則) (西谷源展)	491
9	医療法に定める放射線利用の管理体制 (西谷源展)	494
10	放射性同位元素等の規制に関する法律 (西谷源展)	495
11	電離放射線障害防止規則 (電離則) (西谷源展)	498

12	防護量と実用量 (西谷源展)	500
13	環境の管理 (西谷源展)	502
14	個人の管理 (西谷源展)	504
15	医療被ばく (西谷源展)	507
16	表面汚染の管理 (汚染除去法) (西谷源展)	509
17	廃棄物処理法 (西谷源展)	510
18	放射性同位元素の安全取扱い (西谷源展)	513
19	放射性同位元素取扱い施設 (西谷源展)	515
20	給気・排気 (換気)・排水設備 (西谷源展)	516
21	事故対策 (西谷源展)	517
22	医療法施行規則 (抄) (西谷源展)	519
23	診療放射線技師法 (抄) (西谷源展)	532
	日本語索引	537
	外国語索引	556

2章 放射線生物学

● 渡邊祐司
● 佐藤芳文

放射線生物学とは放射線がおこす人体への影響を学ぶ学問である。放射線をもたらす人体の障害は、放射線による DNA 損傷が根本的な原因である。DNA 損傷に引き続いて細胞死や DNA・染色体の突然変異が生じる。本章では、放射線による一連の連鎖的な作用を、物理学的過程（電離、励起）、化学的・生化学的過程（ラジカル生成、生体高分子との反応）、生物学的過程（DNA 損傷・修復、細胞死、組織障害、発がん、遺伝的影響）に分けて作用の時間軸に沿って解説する。

診療放射線技師国家試験の対策本として、過去の国家試験問題で使われた用語をできるかぎり組み込み、最近の国家試験の出題傾向をもとに以下の重要な項目に力点をおいて解説を進める。

- 電離放射線と物質の相互作用
- 直接作用と間接作用
- 間接作用の4つの修飾効果
- DNA 損傷と修復
- 遺伝子突然変異と染色体異常
- 細胞周期と細胞死
- 細胞の生存率曲線：ヒット標的理論と LQ モデル (α/β 値)
- 線質・線エネルギー付与 (LET) と生物学的効果
- 組織の放射線感受性
- 確定的影響と確率的影響
- 全身被ばくによる放射線障害
- 胎児の放射線障害 (胎内被ばく)
- 各種臓器障害：造血系、消化器系、脳・中枢神経、生殖腺、皮膚、眼
- 発がん・遺伝的影響
- 内部被ばく
- 分割照射と 4R
- 粒子線治療、ホウ素中性子捕捉療法
- 温熱療法

なお、治療の臨床的な分野については 13 章 放射線治療技術学を参照されたい。また、放射線衛生学の分野のうち ICRP 勧告に関連した内容は本章では扱わず、15 章 放射線安全管理学の第 1 節を参照されたい。

I

放射線の種類と電離作用

放射線が人体に影響を及ぼす第1段階は物理学的過程である。放射線が人体内の分子・原子との相互作用で、電離や励起が生じる過程のことである。この所要時間は 10^{-15} 秒程度で極めて短い。次に起こる化学的過程では、生体高分子や水が電離・励起され、遊離基（フリーラジカル）が生成される。そして遊離基が標的であるDNAに損傷を与える過程が生化学的過程である。

1. 電離放射線

放射線生物学で扱われる放射線は、ふつう電離放射線とよばれるエネルギーレベルの高い放射線で、原子から電子を引き剥がす作用（電離作用）を有する。

電離放射線には、X線・ γ 線などの波長の短い電磁波（光子線）、 α 線・ β 線・電子線・陽子線・重粒子線などの荷電粒子線、非荷電粒子線である中性子線・ニュートリノなどが知られている（図2-1）。紫外線は一部の波長の短いものを除いて電離作用をもたないので非電離放射線として扱われ、法令では電離放射線に分類されない。しかし実際には紫外線がDNAに特異的に吸収され、細胞を殺す能力が高い。

2. 電離と励起

放射線と細胞を構成している分子や原子との相互作用は電離や励起である。電離とは軌道電子にエネルギーを与えて電子を原子からはじき出す作用で、励起とは軌道電子をエネルギー準位の高い外側の軌道に電子を移動させる作用である。この励起に必要なエネルギーは電離に必要なエネルギーより小さい。

α 線・ β 線・電子線・陽子線・重粒子線など電荷をも

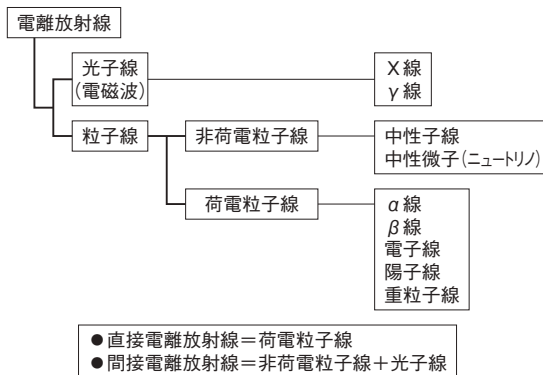


図 2-1 電離放射線の分類

った粒子は生体を構成する原子の近くを通過すると、クーロン力によって軌道電子にエネルギーを与え、直接電離を起こすことができるので、直接電離放射線とよばれる。

一方、電荷をもたない粒子である中性子や光子線（X線や γ 線などの電磁波）は、クーロン力によって電離を起こすことはない。しかし、それぞれ特有の相互作用によって荷電粒子を放出させることができるので、間接電離放射線とよばれる。

たとえば、光子は光電効果、コンプトン効果や電子対生成によって、電子を放出させる。この効果自体が細胞に及ぼす影響は小さいので問題にならないが、飛び出した電子（二次電子）が十分エネルギーをもっていれば、直接電離放射線として振る舞うことができる。

中性子の場合には、水素原子核との反応が重要となる。水は人体の70%を占める重要な成分であり、細胞内には多量の水分子がある。高速の中性子が水素の原子核に近くと玉突き衝突のように水素原子核の陽子を弾き出す。飛び出した陽子（反跳陽子）が十分エネルギーをもっていれば、直接電離放射線として振る舞うことができる。

したがって、光子や中性子はそれ自身の電離能力を問題にされることはないが、荷電粒子を放出させることによって間接的に電離放射線として振る舞うことになる。これが間接電離放射線とよばれる所以である。

放射線のもつ強い生物作用によって、被ばくした組織は障害を受ける可能性がある。その際、考慮すべき要因として、エネルギーの大きさだけでなく、その放射線がどこまで深く生体に入ることができるか（放射線の透過力あるいは飛程の長さ）、細胞内でどのように電離を引き起こすか（電離の分布の仕方や密度）などを挙げる（図2-2）。

荷電粒子を加速すると透過力は大きくなる。生体に照射すれば、体内の組織を構成する原子中に電離や励起を

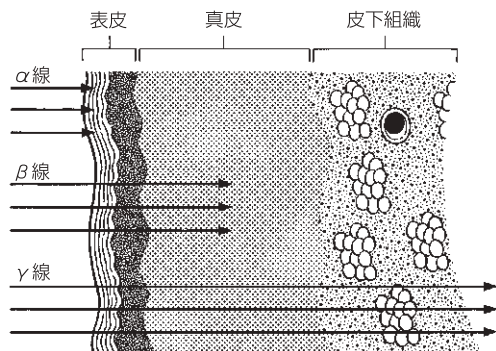


図 2-2 α 線、 β 線、 γ 線の透過力の違い

放射線が生体にどのような効果を与えるかを考えるとき、エネルギーの大きさと同時に、透過力が問題となる。（草間他：放射線健康科学。p.26、杏林書院）

引き起こし、エネルギーを失っていく。その粒子が高速で飛んでいる時は、軌道電子と作用する時間は短く、放出するエネルギーは小さい。しかし、エネルギーを失い止る寸前になると、相互作用を起こしやすくなり、放出されるエネルギーは急速に増加する。このように、荷電粒子のエネルギーの放出は体表面で少なく体の深部で大きくなる。腫瘍の治療の場合には、この線量分布の特徴を生かすように工夫することになる (☞ p. 93)。

3. 線エネルギー付与 (LET) と線量単位

放射線の種類によって、同じ線量でも効果が異なる。このとき放射線の線質が異なるという。実際には、放射線によって引き起こされる電離の分布の仕方が違うためと考えられている (図 2-3)。この電離の分布の仕方の表現として線エネルギー付与 (LET) が用いられる (☞ p. 90)。LET は入射した放射線だけではなく、二次的に放出された粒子も含め、飛跡に沿って単位長さあたりに与えられるエネルギー $[\text{keV}/\mu\text{m}]$ で定義されている。一般的に LET は放射線の荷電の二乗に比例し、粒子の速さに反比例する。粒子の質量が大きいくほど LET は大きくなる。同じ種類の放射線ではエネルギーが高いほうが LET が通常小さい (表 2-1)。LET の大小によって放

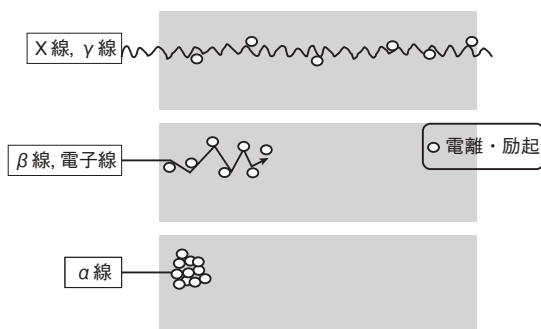


図 2-3 放射線と物質の相互作用

X 線・ γ 線は直線的で飛跡が長く透過しやすい。引き起こす電離・励起は少ない。

β 線・電子線の飛跡はジグザグで比較的短い。電離励起を引き起こすところで飛跡角度が変わる。 α 線は飛跡が短く、局的に一気に電離励起をきたし、エネルギーを付与する。

表 2-1 各種放射線の LET

放射線	LET (keV/ μm)
光子線	^{60}Co γ 線 0.2
	250 keV X 線 2.0
陽子線	10 MeV 4.7
	150 MeV 0.5
α 線	2.5 MeV 166
炭素線	50 MeV 330

・低 LET 放射線： X 線・ γ 線・ β 線・電子線・陽子線
 ・高 LET 放射線： 中性子線・ α 線・重粒子線

射線の線質を規定でき、LET が高い中性子線・ α 線・重粒子線は高 LET 放射線に分類され、LET が低い X 線・ γ 線・ β 線・電子線・陽子線は低 LET 放射線に分類される。(ただし陽子線では、陽子線治療に用いるエネルギーは数 10~240 MeV の陽子線を用いるので、LET は 4.7~0.5 と低く、低 LET 放射線に分類される)

放射線に関する線量単位には、照射線量、吸収線量、等価線量、実効線量などがある。照射線量とは、X 線・ γ 線についてある場所での空気を電離する能力を表す量で、単位は C(クーロン)/kg を用いる。

吸収線量は照射された組織の単位質量あたりに吸収されるエネルギー $[\text{J}/\text{kg}]$ と定義され、普通、放射線の生物作用を問題にするときには、吸収線量 $[\text{Gy}]$ を用いる。この吸収線量はすべての放射線に適用される生体への影響を考えるとときの基本となる。たとえば同一線量を局所的に被ばくしたときと広範囲に被ばくしたときを比較してみよう。同一線量である以上、同じ体積で比較すれば、吸収エネルギーは同じである。しかし、範囲が広くなれば、被ばく容積が増えるので、全吸収エネルギーは大きくなる。広範囲に被ばくすれば障害部分は大きくなる。また、放射線の種類によって生体への影響が異なる。同じ 1 Gy でも、X 線と中性子や α 線などでは生物効果が異なる。このため、放射線防護の観点から、放射線加重 (荷重) 係数が定められ、放射線の種類による放射線の影響の重み付けを行う。光子線 (X 線・ γ 線) と電子線は 1、陽子線は 2、 α 線と重粒子線は 20、中性子線は 2.5~20 の連続関数である (表 2-2)。

等価線量とは人体の特定の組織・臓器に対する放射線の影響を表す線量で、吸収線量に放射線加重係数を乗じて得られ、単位はシーベルト (Sv) を用いる。臓器・組織の確率的影響のリスク算定に用いられる。

実効線量とは人体の全身に対する放射線の影響を表す指標で、各臓器の受けた等価線量にその臓器の組織加重係数を乗じた値をすべての臓器の総和量として求められる (表 2-3)、単位は等価線量と同じシーベルト (Sv) である。全身の確率的影響のリスク算定に用いる。

表 2-2 放射線加重係数 (W_R) と等価線量

等価線量 (Sv) = 放射線加重係数 W_R × 吸収線量 (Gy)	
放射線の種類	放射線加重係数 (W_R)
光子 (X 線, γ 線)	1
電子	1
陽子	2
α 線, 重イオン線	20
中性子	2.5~20 (中性子エネルギーの連続関数)

ICRP 勧告 2007 を改変

7章 X線撮影技術学

- 木村千里 (1-14)
- 石井里枝 (15)
- 井戸靖司 (16, 17)
- 柴田登志也 (18)
- 小田紋弘 (19)

X線撮影技術学は、診療放射線技師の臨床業務において最も基本的必要な科目である。

X線撮影技術学は、基礎医学大要・診療画像検査学・診療画像機器学などと関連が深い科目であり、国家試験に対してはこれらの科目を横断的に結びつけて学習することが必要である。

X線撮影技術学の領域には、単純X線撮影・造影検査（消化管造影、血管造影）・CT検査が主体となっている。このため、これらの撮影・検査技術の習得は、教科書のみならず臨地実習で学んだことを復習する必要がある。

国家試験においては、教科書レベルの問題はもとより、現在臨床で行われている撮影・検査技術にまでおよぶ問題が出題され、さらには画像解剖の知識までも問われている。

この章では、X線撮影技術学の教科書レベルのまとめに加えて、臨床技術に結びつく内容を簡潔に記した。したがって、国家試験対策としての本書の活用はもちろんのこと、読者が将来のX線撮影技術学の向上に寄与していただくことにも期待している。

基礎医学
大 要

放 射 線
生 物 学

放 物 線
物 理 学

放射化学

医用工学

診療画像
機 器 学

X線撮影
技 術 学

診療画像
検 査 学

画像工学

医療画像
情 報 学

放 射 線
計 測 学

核医学検
査技術学

放射線治
療技術学

医療安全
管 理 学

放射線安
全管理学

1

画像診断における診療放射線技師の役割と義務

1. 診療放射線技師の役割

画像検査に携わる診療放射線技師は、各種の画像診断機器を操作して患者の病巣を画像として捉え、あるいは画像検査に並行して行われる血管内治療への画像提供など画像診断の技術分野を担当する。

画像診断機器は、X線撮影では単純撮影、造影撮影、特殊撮影、CT、歯科撮影、骨密度測定などさらにMRI検査を含めて多用途に分かれ、また同じ用途でもメーカーや性能で多くの装置があり、診療放射線技師はこれら多くの機種機能を、検査する部位や疾患に対応させて選択し、診断側が求める画像を提供する役割を担っている。

装置の性能を十分把握した上で、患者の疾病を画像情報としての確・安全・迅速に取り出すには、撮影技術はもちろん、画像データ収集やその後の画像処理技術も極めて重要である。診断情報に富む画像を提供するためには、診療放射線技師は解剖学や生理学、病態学、画像診断学などの医学知識に基づく検査技術および画像処理、画像機器の性能を良好に維持させる技術をもっていなければならない。

診療放射線技師は画像検査業務のほかに、一般人を放射線から守り、同時に放射線従事者が放射線を安全に利用できる環境を整備する役割も担っている。そして、患者には必要以上の被ばくが起きないように装置や付属機器を整備し、より少ない検査(撮影回数や線量)で多くの診断情報が得られるために最善を尽くすことが求められる。

近年、医療画像は大部分がデジタル画像に移行している。デジタル画像は最初の画像データ収集から、途中の画像処理さらに機器の品質管理など最良の技術で機能させて初めて、診断に役立つ画像を提供できるわけで、検査を担当する診療放射線技師は、これまで以上に画像作成の技術を高める必要がある。

このデジタル化によって、現在医療施設に普及している情報システム(HIS)や、部門内の情報システム(RIS)とリンクする画像保管転送システム(PACS)が実現され、この3者による院内情報ネットワークが、各種の診療情報を正確かつ迅速に各診療部門に転送するようになった。こうした医療と科学技術、情報技術が融合された病院情報システムを有効に機能させるためにも、診療放射線技師の役割は益々拡大してきている。

2. 医療倫理

診療放射線技師が検査に携わる以上、患者の氏名や年齢、家族歴などの個人情報はもちろん、過去の疾病や既

往歴など医療情報も知ることになる。検査する側は、これらの患者情報によって診断情報を増大させる一方で、患者の病気や人権に関わる部分を知ることになる。医療人として患者のプライバシーを守ることは当然だが、知り得た情報によって検査した側の心情を表面化することは許されない。同時に患者やその家族に対する温かい言葉遣いや、思いやりを常に意識して行動するよう努めなければならない。

3. チーム医療

画像検査には、単純撮影のように診療放射線技師だけで検査が行われる部門と、CTやMRI検査など造影検査が伴う部門、さらに血管造影のように医師、看護師に加え、臨床工学技士などの医療スタッフとともにチームを組んで、画像検査が進められる部門とがある。

いずれの場合も、精度の高い診断やインターベンショナル・ラジオロジー(IVR:経カテーテル的血管内治療などを行う放射線医学)が行われる場合に、そこに携わる医療スタッフは、患者にとって安全で、苦痛が少なく、予後も良好な検査が行われるよう各分野が一丸となって努力することは言うまでもない。

通常、安全に行われている検査も、患者の状態によっては突然の事態が発生することがある。いったん、患者の生命に危機が起きたときは、放射線診療部門だけの対応でなく救命救急センター(ICU)や麻酔科の応援を仰ぐなど、病院全体のチーム医療が瞬時に動き出す危機管理態勢を整備しておくと同時に、その中における診療放射線技師の役割を明確にして、敏速に対応することが重要である。

4. 検査時のインフォームド・コンセントと患者保護、被ばく軽減

画像検査には、数秒の検査から長時間の造影検査まで患者にとって精神的、肉体的に苦痛を伴う検査が多い。このような検査に患者に協力してもらうには、検査前にその方法はもちろん、その検査が診断する上でどんな意義をもつのか、またどんな苦痛や危険な状態が起り得るのかなどを検査する側はわかりやすく説明し、理解してもらった上で患者自身の意志で検査を了承する、いわゆるインフォームド・コンセントの過程を踏むことが大切である。

検査を担当する診療放射線技師は、患者へのインフォームド・コンセントを重視すると同時に、各分野のスタッフに率先して、患者の容態に注視し、患者の苦痛を軽減させる“声かけ”を忘れてはならない。

さらに、X線撮影時の患者の被ばく線量の軽減に努めることは、診療放射線技師として責務である。

X線撮影の基本

1. X線撮影の目的

X線撮影はX線の透過と吸収の性質を利用することによって、人体内部の構造や異常および病変などを客観的に観察可能なX線画像にすることを目的に行われる。

この目的を達成するためには、次のことに注意して行う必要がある。

- 1) 画像上に異常や病変を描出するための標準的な撮影法(体位、中心線など)で撮影されていること。
- 2) 使用する受像器面サイズが、撮影目的に対応したサイズになっていること。
- 3) 患者の氏名・生年月日(年齢)・性別、および撮影年月日・方向・左右などが画像上に表示されていること。
- 4) 画像に歪みやボケが少なく、目的部位、病変が観察可能な画質(コントラスト、濃度、鮮鋭度、粒状性など)で描出されていること。
- 5) 観察の支障になる不必要なもの(ヘアピン、バンド、衣服など)が写っていないこと。
- 6) 可動絞りや防護衣などを使用して、患者の被ばくをできるだけ少なく抑えること。

2. X線画像の画質

X線画像はコントラスト、濃度、鮮鋭度、粒状性(度)などによって画質が変わるため、これらの因子は画質を評価する上で重要である。

1) X線画像コントラストは被写体コントラストとフィルムコントラストが関係する。被写体コントラストはX線コントラストともいわれ、X線と被写体によって起こるコントラストであり、被写体の減弱係数・密度・厚さ、および散乱X線で変化し、この中の減弱係数と散乱X線は、管電圧(X線エネルギー)が大きく作用する。

フィルムコントラストは、フィルム自体の特性や増感紙の蛍光体、現像処理によって変化する。X線画像(写真)のコントラストは、これら被写体コントラスト、フィルムコントラストの相乗積によって成り立っている。

2) 画像濃度は管電圧、管電流、撮影時間、受像系の感度などによって変化する。

3) 鮮鋭度は画像の輪郭や細部についての明瞭さを表す物理的尺度で、X線管球焦点、焦点-被写体-受像器の位置による幾何学的関係、受像器の種類、被写体の動

き、撮影条件などによって変化する。

4) 粒状性(度)は、画像を形成する粒状模様がざらざらしたまだら模様になっている状態の程度を表し、X線量子(X線量)、受像器の特性などに影響される。

3. 撮影条件

X線撮影条件は、診断に適した画像を撮影するために重要である。撮影条件は主に次の因子で決まる。

1) 管電圧(kV)：管電圧はX線のエネルギー(線質)を変化させるもので、高電圧ほど被写体の透過性が高くなると同時に、散乱X線が多くなる。

2) 管電流(mA)：管電流は単位時間当たりのX線量を変化させるもので、撮影時間との積で写真濃度を制御する。

3) 撮影時間(sec)：撮影時間はX線を被写体に照射している時間で、時間が長くなると被写体の動きによるボケの影響が多くなる。

4) 撮影距離(cm)：撮影距離はX線管球焦点-受像器面間距離(SID; source image receptor distance)で、距離が長いほど拡大が小さい。一方、撮影距離は距離の逆二乗則により、線量に大きく影響を与える。

5) 被写体(撮影対象)の種類と厚さ：被写体の実効原子番号や厚さはX線の透過・吸収・散乱に影響し、画像の描出性に大きく関与する。

6) 受像系：受像系は被写体を透過したX線を受けて画像形成に直接関わるため、その種類は画質の良否を左右する。また、被写体への被ばく線量にも影響する。

7) グリッドの種類：グリッドは散乱X線を除去する目的で使われるもので、画像のコントラストを高めることができ、撮影目的や被写体の厚さなどによってグリッド比・グリッド密度などを選択して使い分ける。

8) 照射野の大きさ：照射野はX線を照射する範囲をいい、より広い照射野は散乱X線を多く含むコントラストを低下させるのと同時に患者の被ばくが増加する。

4. 患者の協力と防護

X線撮影(X線検査)は、X線を患者に照射して得られる画像から、必要な診断情報を得るのが目的である。検査はできる限り短時間に終了するように患者側の協力が必要である。撮影時の呼吸の動作や体位の保持など患者側の協力により、検査時間が短縮でき、加えて診断に適した画像の撮像に結びつける。撮影時は患者に無用な被ばくを避けるために、最大限のX線防護は不可欠である。

3

X線撮影（検査）の種類

X線撮影には、人体組織のX線吸収差だけで透過像を作る単純撮影と、造影剤を使用して特定の部位を画像として強調する造影検査、さらに特殊な機能をもつX線装置で撮影する特殊撮影とがある。

1. 単純撮影

単純撮影は一般撮影ともいわれ、X線画像診断の基本になる撮影技術として位置付けられる。

単純撮影法は患者の体位とX線中心線の設定によって行い、その撮影条件は目的部位が診断しやすい画像になるように設定する。

2. 造影検査

造影検査は体内の特定の部位や病巣が周囲組織とX線吸収差が少ない部位に対して、造影剤を使うことによってX線吸収差を大きくして、目的部位が観察しやすい濃度・コントラストに描出されるように行う検査方法である。

A. 循環器系造影

脳血管、心血管、腹部血管、四肢血管などの循環器系造影では、陽性造影剤（非イオン性ヨード系造影剤）を使用する。

B. 消化管造影

食道、胃、十二指腸、小腸、大腸などの消化管造影は、陽性造影剤（硫酸バリウム製剤、水溶性ヨード系造影剤）と陰性造影剤（空気、CO₂）を用いた二重造影法である。

C. 胆嚢胆管造影

肝内胆管、胆嚢管、胆嚢、総胆管などの胆嚢胆管造影は、陽性造影剤（水溶性ヨード系造影剤）を使用する。

D. 泌尿器・生殖器系造影

1) 尿路造影

腎盂、尿管、膀胱、尿道などの尿路造影は、陽性造影剤（水溶性ヨード系造影剤）を使用する。この他、膀胱造影には陽性造影剤と陰性造影剤（空気）による二重造

影法も行われる。

2) 子宮卵管造影

子宮卵管造影は、陽性造影剤（油性ヨード系造影剤）を使用する。

E. 脊髓腔造影

脊髓クモ膜下腔に造影剤を注入する脊髓腔造影は、陽性造影剤（非イオン性ヨード系造影剤）を使用する。

F. 唾液腺造影

耳下腺、顎下腺などの唾液腺造影では、陽性造影剤（水溶性ヨード系造影剤）を使用する。

3. 特殊撮影

特殊撮影は特別な機能をもったX線装置を用いて、目的の部位を診断しやすい画像に撮影する方法である。

A. 乳房撮影

乳房撮影は軟部組織やがん病変、石灰化を診断しやすいコントラストの画像にするための撮影法で、低電圧、圧迫法、拡大撮影などの方法で行われる。

B. 断層撮影

断層撮影は目的の深さ部分を描出し、それ以外の部分をぼかす方法で、X線管の移動方式によって直線方式（平行移動、円弧移動）と多軌道方式（円、楕円、ハイポサイクロイド、スパイラル）がある。現在はトモシンセシス（註 p.197）という方法が行われている。

C. 拡大撮影

拡大撮影は目的部位を拡大することによって、通常の撮影よりも診断しやすくする方法で、直接拡大法と間接拡大法がある。

D. 立体撮影

立体撮影は両眼の立体視を応用した撮影方法で、一つのX線管を移動する方法、X線管のフィラメント部を移動させて焦点を変位する方法、二つのX線管から交互にX線を照射する方法、一つのX線管内に二つのフィラメントを設けて交互にX線を照射する方法などがある。

E. 間接撮影

間接撮影は受像面の像を光学系を用いて、フィルム上に縮小した像として記録する撮影方法と、蛍光増倍管（I.I.）の出力蛍光面の像をカメラで撮影する方法とがある。

8章 診療画像検査学

- 笠井俊文 (1-8)
- 桑原奈津美 (9-12)
- 小嶋健太郎 (13)

診療画像検査学は、平成16年3月の国家試験より新たに設けられた科目である。診療画像検査学には、磁気共鳴画像検査、超音波検査、無散瞳型眼底カメラなど、X線を用いない画像診断装置および画像が含まれている。

試験の出題範囲は、装置の基本原理、構成、機能およびそれらの画像の成立理論、撮影、撮像方法、診断画像の特徴などについての基礎的な知識や技術が問われている。平成24年版の(新)出題基準では、特に「MRI検査」ではパルスシーケンス、脂肪抑制画像、MRS、ファンクショナルMRI、心臓・大血管など具体的な検査法が追加された。

また最近の出題傾向をみると、臨床画像に対する設問が出題されている。解剖学で学んだ人体の構造と機能を基本として、画像の特徴と読影に必要な知識および理解は、特に臨床実習を通して十分に理解してほしい。

多くの試験科目の中でも、特に診療画像検査学の内容は日進月歩で発展しているため、常に新しい機器などが開発され、装置や撮像法はさらに進歩している。この章の内容に書かれた範囲を超えた新しい用語(key word)が実際に出題されている。この意味で、診療画像検査学の科目は、特に在学中の講義による知識を十分吸収して、広い知識から応用ができるように学習してほしい。

超音波に関する最小限の知識を掲載した。超音波検査の最大の長所はリアルタイム性と被ばくを伴わない非侵襲性である。これらの特徴をしっかりと把握し、検査目的と検査方法を理解する。アーチファクトの出現原理や画像の特徴、その対策についても理解する。超音波画像に関しては、上腹部画像だけでなく頸部、骨盤部また腎臓や心臓などの部位も国家試験に出題されている。また読影に必要なkey wordを覚えて、多くの超音波画像にふれ解剖学の基礎と連携して正常像を十分に把握し、病変像の特徴を理解してほしい。

眼底カメラに関する試験問題は、撮影方法だけでなく眼底カメラの構造と原理や、眼底所見についても出題されている。眼底写真を提示し、部位の名称や位置関係を問う問題も出題されている。解剖学的名称と実際の眼底写真を照らし合わせてしっかり整理してほしい。また、眼底カメラによって診断される疾患名や、その画像の特徴についても出題されているので、病変像も理解してほしい。

基礎医学
大要

放射線
生物学

放射線
物理学

放射化学

医用工学

診療画像
機器学

X線撮影
技術学

診療画像
検査学

8

画像工学

医療画像
情報学

放射線
計測学

核医学検
査技術学

放射線治
療技術学

医療安全
管理学

放射線安
全管理学

MRI の原理

MRI とは magnetic resonance imaging (磁気共鳴画像) の頭文字をとった言葉で, 1946 年に Bloch と Purcell によって報告された核磁気共鳴現象 (nuclear magnetic resonance ; NMR) と, Lauterbur (1973 年) によって開発された投影再構成法による画像診断法である。生体内で対象となる核種は ^1H , ^{13}C , ^{19}F , ^{23}Na , ^{31}P などである。 ^1H は生体内に最も多く存在し, かつ強い信号を出すため, プロトン画像が主に利用されている。MR 画像にはプロトン密度, T_1 緩和, T_2 (T_2^*) 緩和, 流れ, 拡散, 磁化率, ケミカルシフト, 組織構造などが信号として取り出せる。

1. MRI 検査の特徴

- 1) 組織 (軟部組織) のコントラスト分解能が高い。
 - 2) T_1 や T_2 などの組織固有の情報が得られる。
 - 3) 任意方向の断面が直接撮像可能である。
 - 4) 血流情報を造影剤を使用せずに得られる (MRA や血流速度)。
 - 5) 機能画像 (f-MRI, d-MRI, p-MRI など)。
 - 6) MRS (スペクトロスコピー) による生化学的分析, 代謝評価などが可能
 - 7) 放射線被ばくがない。
 - 8) 骨のアーチファクトがない。
- などの利点があげられるが, 欠点としては
- 1) 体内金属保有者は検査できない, あるいは注意が必要である (ペースメーカ, 人工内耳装着者, 動脈止血クリップなど)。
 - 2) 検査時間が比較的最長い。撮像時間の長さ, 複数の画像 (T_1 , T_2 , pd など) の撮影が必要。
 - 3) 検査中の騒音など。

2. NMR 現象

NMR 現象は, ①特定の条件を満たす原子核 (プロトンなど), ②磁場強度の存在 (静磁場: 永久磁石, 常電導磁石, 超電導磁石), ③原子核と磁場で決まる特定周波数の電磁波 (ラーモア周波数), の 3 条件によって起きる。画像化のためには, 断面の決定, スライス面内の位置情報の取得のために傾斜磁場が重要な役割を果たす。

A. NMR の対象となる核種

磁気共鳴を起こす原子核は, 陽子・中性子のどちらかが奇数個, あるいは両方が奇数個の核である。

原子核は質量・電荷・スピンという 3 つの属性をもち,

電荷をもった原子核 (^1H は陽子: + の電荷) がスピン (回転) すると, 小さな磁気をもち棒磁石と考えることができる。その強さと方向 (ベクトル) を表す量を磁気モーメントという。通常は一個ずつがバラバラな方向を向いており, 全体では磁気をもたない。

B. ラーモアの歳差運動

プロトン (^1H) を静磁場 (B_0) 中に置くと, スピンをしながら歳差運動を行う (図 8-1)。この歳差運動の回転角速度 (周波数) と同じ高周波磁界 (ラジオ波) を垂直方向から与えると, プロトンは共鳴を起こし歳差運動の角度が増加する。歳差運動の周期をラーモア周波数 (共鳴周波数) とよぶ。共鳴角周波数 ω_0 [rad/s], 静磁場強度 B_0 [T] とすると,

$$\omega_0 = \gamma \times B_0$$

γ は核磁気回転比 [Mrad/T·s, MHz/T] で核種に固有な定数。共鳴周波数を ν_0 [MHz] とすると, $\omega = 2\pi\nu_0$ から

$$\nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{\gamma \times B_0}{2\pi}$$

静磁場強度が決まれば, 目的核種の共鳴周波数が決まる。

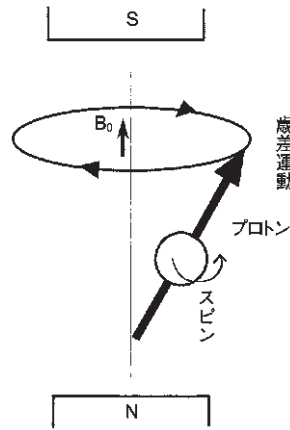


図 8-1 核スピンの歳差運動

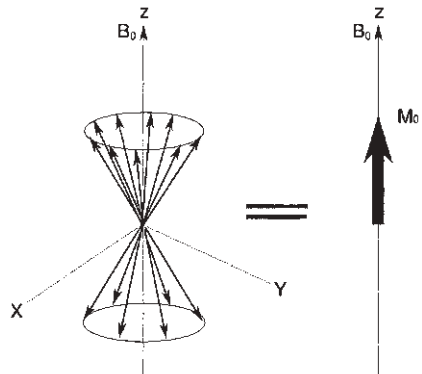


図 8-2 巨視的磁化ベクトル

プロトンの γ は 42.58 [MHz/T] (あるいは 267.4 [Mrad/T·s]) である, 静磁場強度が 1.0 T (テスラ = 10,000 ガウス) では 42.58 MHz のラジオ波 (RF) を照射するとプロトンは共鳴する. 1.5 T では 63.87 MHz, 3.0 T では 127.74 MHz が共鳴周波数となる.

プロトンは磁場中では +z 軸方向 (55°) と反対方向 (125°) を向いて回転するものに分けられるが, +z 軸方向が少し多いため z 軸方向に磁気をもつ ($M_z = M_0$). この磁化を巨視的磁場とよび M_0 で表す (図 8-2). x-y 軸方向はバラバラな方向を向いているため磁気はもたない ($M_{xy} = 0$).

C. 励起現象

磁場中におかれたプロトンに RF (ラジオ波) パルス を照射すると RF は磁場 (高周波磁場) をもっており, M_0 は B_1 (x 軸) の回りを回転し始める. これが共鳴現象でスピンの倒れる (励起された) という. M_0 が 90° 倒れる RF の強さを 90° パルスとよび, この 2 倍の時間あるいは 2 倍の強さの RF を与えると 180° パルスになる (図 8-3). 静磁場強度を B_0 , 変動磁場 (高周波磁場) を B_1 として表記する.

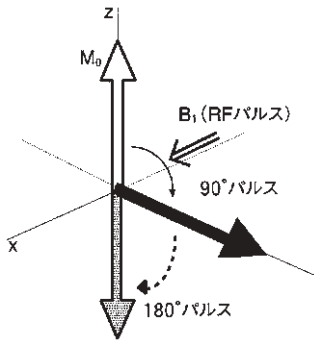


図 8-3 RF パルスによる磁化ベクトル

D. 緩和現象

RF パルスを止めると, 励起された原子核は緩和とよばれる過程を経てエネルギーを失い, z 軸方向は元の $M_z = M_0$ に回復し, x-y 軸方向は $M_{xy} = 0$ に減衰していく.

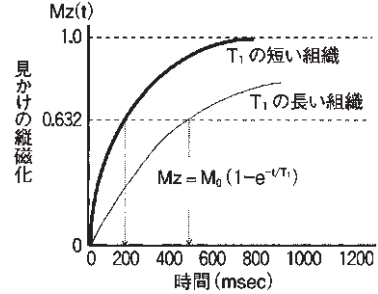
1) 縦緩和 (T_1) はスピン-格子緩和ともよばれ, 時間とともにゆっくり回復する. この回復過程は指数関数的で, その時定数を T_1 緩和時間という (図 8-4a).

$$M_z(t) = M_0 \times (1 - e^{-t/T_1})$$

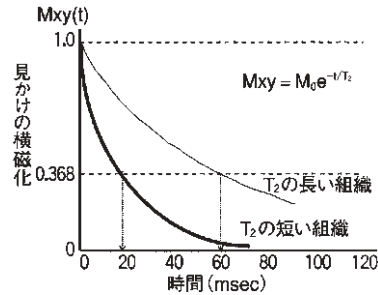
2) 横緩和 (T_2) はスピンスピン緩和ともよばれ, 時間とともに急速に減少する. この減衰の時定数を T_2 緩和時間という (図 8-4b).

$$M_{xy}(t) = M_0 \times e^{-t/T_2}$$

人体の T_1 , T_2 値は組織により異なり, これらの値に応じた MR 信号を取り出すことによって画像コントラ



a. T_1 による縦磁化の回復曲線



b. T_2 による横磁化の減衰曲線

図 8-4 緩和現象

表 8-1 組織の T_1 値と T_2 値の概要

組織	T_1 値 (ms)		T_2 値 (ms)
	0.5 T	1.5 T	
脳脊髄液	3,000	3,000 <	200 <
灰白質	660	920	100
筋肉	600	870	50
白質	540	790	90
肝臓	320	500	40
脂肪	215	250	85

ストが決定する. 見かけの磁化 M_z , M_{xy} の大きさが信号強度 (画像コントラスト) に反映する.

人体軟部組織の T_1 値は 200~1,000 msec, T_2 値は 100 msec 以下である. また静磁場強度が高くなると組織の T_1 値は長くなるが, T_2 値は磁場強度に依存しない

関連事項

- ・スピン量子数: 原子核はスピン量子数 S に関連したエネルギーレベルをもつ. このエネルギー状態の数 = $2 \times S + 1$ によって決まる. したがって, S が $1/2$ のプロトン 1H は 2 方向, $3/2$ の ^{23}Na は 4 方向のエネルギー状態をとる.
- ・縦緩和時間 (T_1): T_1 値は回復を示す指標で, T_1 値が短いほど信号は強い (脂肪など). T_1 強調像を得るためには短い TR を設定する. TR を長くすると組織の T_1 の影響が少ない画像になる.
- ・横緩和時間 (T_2): T_2 値は減衰 (言い換えると信号保持能力) を示す指標で, T_2 値が長いほど信号は強い (水など). 短い TE を設定すると, T_2 の影響が少ないため, T_2 強調像は TE を長く設定する.
- ・ T_2^* 減衰: T_2 緩和による減衰に加えて, 静磁場の不均一性, 局所的な磁化率の変化などによる影響を含めた減衰.

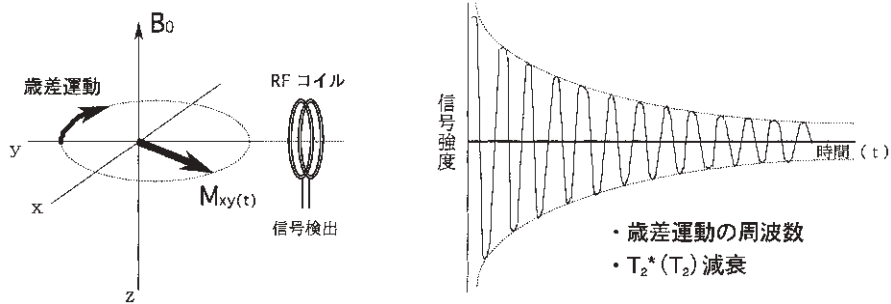


図 8-5 信号の検出と自由誘導減衰 (FID)

(表 8-1).

E. エコー信号の検出

y 軸方向に置いた RF コイル (アンテナ) には電磁誘導により電流が発生して NMR 信号が検出できる。M₀ を倒した直後の信号強度 (M_{xy}) は位相が揃って最大であるが、歳差運動周波数で回転している間に、次第に位相がバラバラになり指数関数的に減衰する (図 8-5)。この信号を自由誘導減衰 (FID) とよび、組織の T₂ 値による減衰と、局所磁場の不均一性が加わった T₂* (T₂ スター) があり、両者は T₂* ≪ T₂ である。

電磁誘導によりエコー信号を得るためには、RF コイルは B₀ (z 軸) と平行方向に設置する必要がある。RF コイルを B₀ (磁束) に対して垂直方向に設置した場合は、エコー信号は得られない。したがって、エコー信号を受信するために励起 RF パルス (90° や低フリップ角) を印加して横磁化 (M_{xy}) 成分を生成させる必要がある。エコー形成法には、収束用 180° パルスを用いたスピネコ

ー (SE) 法と、傾斜磁場の極性を反転させるグラディエントエコー (GRE) 法がある。

F. 位置情報の収集

プロトンの位置情報収集のために傾斜磁場を 3 軸方向に用いる。

①スライス選択傾斜磁場：RF パルス (周波数とバンド幅を調整) と同時に傾斜磁場を印加してスライス位置・厚さ・角度などを決定する。

②位相エンコード傾斜磁場：撮像途中に短時間傾斜磁場を印加してスピンの位相情報を与える。

③周波数エンコード傾斜磁場：エコー信号収集時に印加して、位置によって周波数情報を与える。

これら 3 つの傾斜磁場はどんな方向にも電氣的に重ね合わせられるため、被検者を動かさなくても水平断面のほか、冠状・矢状断面あるいは斜断面・曲面像も撮像可能である。

関連事項

MRI 装置の構成

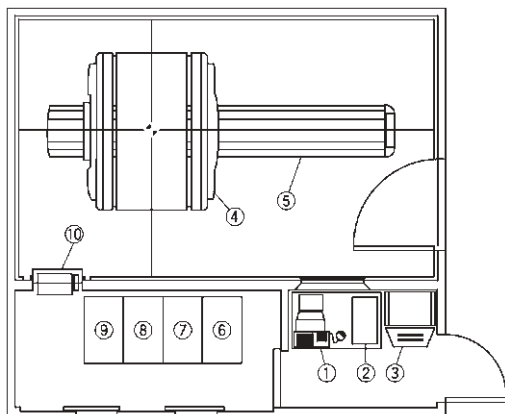


図 8-6 MRI 装置の構成

- ①撮影コンソール, ②メインコンピュータ, ③レーザーイメージャ, ④MRI 本体 (磁石部), ⑤患者寝台, ⑥傾斜磁場電源, ⑦高周波 (RF) 電源, ⑧測定制御, ⑨冷凍機圧縮機, ⑩RF フィルターパネル

診療放射線技師 国家試験対策全科

1978年 3月10日	第1版第1刷	2004年 8月10日	第8版第1刷
1979年 7月 1日	第1版第3刷	2006年 2月20日	第8版第2刷
1981年 2月10日	第2版第1刷	2008年 3月31日	第9版第1刷
1984年 6月 1日	第2版第4刷	2009年 5月15日	第9版第2刷
1985年 8月20日	第3版第1刷	2011年 4月15日	第10版第1刷
1988年 4月15日	第3版第5刷	2012年 5月 1日	第10版第2刷
1989年10月25日	第4版第1刷	2014年 3月31日	第11版第1刷
1992年 5月20日	第4版第4刷	2015年 3月30日	第11版第2刷
1993年 7月10日	第5版第1刷	2017年 4月15日	第12版第1刷
1996年 7月10日	第5版第4刷	2019年 3月10日	第13版第1刷
1997年 8月 1日	第6版第1刷	2020年 3月31日	第13版第2刷
2000年 7月20日	第6版第4刷		
2001年 8月 1日	第7版第1刷	2022年 3月 1日	第14版第1刷 ©
2004年 1月10日	第7版第3刷		

編著者 西谷源展
NISHITANI, Motohiro
遠藤啓吾
ENDO, Keigo
赤澤博之
AKAZAWA, Hiroyuki

発行者 宇山閑文
発行者 株式会社金芳堂
〒606-8425 京都市左京区鹿ヶ谷西寺ノ前町 34 番地
振替 01030-1-15605 電話 (075)751-1111(代)
<https://www.kinpodo-pub.co.jp/>
印刷・製本 創栄図書印刷株式会社

落丁・乱丁本は直接小社へお送りください。お取替え致します。

Printed in Japan
ISBN978-4-7653-1894-5

JCOPY <(社)出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複写は著作権法上での例外を除き禁じられています。複写される場合は、その都度事前に、(社)出版者著作権管理機構(電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp)の許諾を得てください。

●本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。本書を代行業者等の第三者に依頼してスキャンやデジタル化することは、たとえ個人や家庭内の利用でも著作権法違反です。