

Лучевая диагностика

Учебник

Под редакцией профессора Г.Е. Труфанова

3-е издание, переработанное и дополненное

Министерство образования и науки РФ

Рекомендовано ФГАУ «Федеральный институт развития образования»
в качестве учебника для использования в образовательном
процессе образовательных организаций, реализующих программы
высшего образования по специальностям 31.05.01 «Лечебное дело»,
31.05.02 «Педиатрия», 31.05.03 «Стоматология»,
32.05.01 «Медико-профилактическое дело»

Регистрационный номер рецензии 229 от 26 июня 2017 года



Москва
ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА
«ГЭОТАР-Медиа»
2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Авторский коллектив	12
Предисловие	14
Список сокращений и условных обозначений	16
Глава 1. Общие принципы и содержание лучевой диагностики.	
Организация лучевых исследований	18
1.1. Общие принципы лучевой диагностики	20
1.2. Принципиальный порядок изучения лучевого изображения	22
1.3. Организация лучевых исследований	27
Контрольные вопросы	28
Глава 2. Основы и клиническое применение рентгенологического метода диагностики	29
2.1. Методики рентгенологического исследования	33
2.1.1. Общие методики рентгенологического исследования	33
2.1.2. Специальные методики рентгенологического исследования	39
2.1.3. Методики с применением искусственного контрастирования	40
2.2. Показания к применению рентгенологического метода	46
Контрольные вопросы	49
Глава 3. Основы и клиническое применение ультразвукового метода диагностики	50
3.1. История ультразвукового метода диагностики	51
3.2. Принципы ультразвукового исследования	52
3.3. Режимы ультразвукового изображения	54
3.4. Принципы интерпретации изображения при ультразвуковом исследовании	57
3.5. Показания к проведению ультразвукового исследования	59
Контрольные вопросы	63
Глава 4. Основы и клиническое применение рентгеновской компьютерной томографии	64
4.1. Подготовка больного	70
4.2. Общая методика компьютерно-томографического исследования	71
4.3. Методики контрастного усиления изображения	72
4.4. Специальные методики компьютерной томографии	73
4.5. Показания к проведению компьютерной томографии	76
Контрольные вопросы	80
Глава 5. Основы и клиническое применение магнитно-резонансной томографии ...	81
5.1. Физические основы магнитно-резонансной томографии	82
5.2. Контрастные вещества	87

5.3. Методики магнитно-резонансного томографического исследования	88
5.3.1. Стандартные методики	88
5.3.2. Специальные методики	89
5.4. Противопоказания к проведению магнитно-резонансной томографии	90
5.5. Преимущества магнитно-резонансной томографии	91
5.6. Недостатки магнитно-резонансной томографии	91
5.7. Показания к проведению магнитно-резонансной томографии	91
Контрольные вопросы	95
Глава 6. Основы и клиническое применение радионуклидного метода диагностики	96
6.1. Физические основы радионуклидной диагностики	96
6.2. Радионуклидные исследования на основе γ -излучающих нуклидов	97
6.2.1. Основные типы аппаратов и принципы регистрации γ -квантов	99
6.2.2. Регистрация γ -квантов	99
6.2.3. Виды радионуклидных исследований	100
6.2.4. Области применения однофотонной эмиссионной компьютерной томографии	101
6.2.5. Показания к проведению радионуклидных исследований	106
6.3. Радионуклидные исследования на основе позитрон-излучающих нуклидов	108
6.3.1. Физические основы, принципы регистрации излучения и построение изображения при позитронно-эмиссионной томографии	108
6.3.2. Методики проведения исследований в позитронно-эмиссионной томографии	110
6.3.3. Радиофармацевтические препараты для позитронно-эмиссионной томографии	110
6.3.4. Основы клинического применения позитронно-эмиссионной томографии	112
6.3.5. Показания к проведению позитронно-эмиссионной томографии	114
Контрольные вопросы	114
Глава 7. Лучевая диагностика заболеваний и повреждений органов опоры и движения	115
7.1. Методы лучевого исследования	115
7.1.1. Рентгенологический метод	115
7.1.2. Рентгеновская компьютерная томография	116
7.1.3. Ультразвуковой метод	116
7.1.4. Магнитно-резонансная томография	116
7.1.5. Радионуклидный метод	117
7.2. Нормальная лучевая анатомия органов опоры и движения	117

7.3. Возрастные изменения органов опоры и движения	122
7.4. Общая лучевая семиотика патологических изменений органов опоры и движения	123
7.4.1. Общая рентгеносемиотика	123
7.4.2. Общая ультразвуковая семиотика	127
7.4.3. Общая магнитно-резонансная семиотика	129
7.4.4. Общая семиотика патологических изменений при радионуклидном исследовании	131
7.5. Лучевая семиотика заболеваний опорно-двигательной системы	131
7.5.1. Острый гематогенный остеомиелит	131
7.5.2. Панариций	134
7.5.3. Туберкулез костей и суставов	136
7.5.4. Острые инфекционные гнойные артриты	137
7.5.5. Ревматоидный артрит	138
7.5.6. Опухолевые заболевания	139
7.5.7. Врожденные дисплазии	145
7.5.8. Дегенеративно-дистрофические заболевания	146
7.5.9. Эндокринные и метаболические заболевания	149
7.5.10. Экзогенные интоксикации	149
7.6. Лучевая семиотика заболеваний мягких тканей	149
7.6.1. Абсцессы и флегмоны	149
7.6.2. Бурситы, тендовагиниты, тендиниты, тендинозы	150
7.6.3. Опухоли мягких тканей	152
7.7. Лучевая семиотика повреждений опорно-двигательной системы	153
7.7.1. Переломы костей	153
7.7.2. Вывихи	159
7.7.3. Повреждения мягких тканей	161
Контрольные вопросы	166
Глава 8. Лучевая диагностика заболеваний и повреждений легких и средостения	167
8.1. Методы лучевого исследования	167
8.1.1. Рентгенологический метод	167
8.1.2. Рентгеновская компьютерная томография	180
8.1.3. Магнитно-резонансная томография	182
8.1.4. Ультразвуковой метод	183
8.1.5. Радионуклидный метод	184
8.2. Лучевая семиотика заболеваний легких, плевры и средостения	185
8.2.1. Острая пневмония	185
8.2.2. Острый абсцесс легких	186
8.2.3. Бронхоэктатическая болезнь	186
8.2.4. Эмфизема легких	187
8.2.5. Пневмосклероз ограниченный	188
8.2.6. Диффузные интерстициальные диссеминированные заболевания легких	188
8.2.7. Пневмокониозы	189
8.2.8. Тромбоэмболия легочной артерии	189
8.2.9. Отек легких	191

8.2.10. Рак легкого центральный	191
8.2.11. Рак легкого периферический	192
8.2.12. Гематогенные метастазы злокачественных опухолей в легких	193
8.2.13. Туберкулез легких	193
8.2.14. Экссудативный плеврит	197
8.2.15. Спонтанный пневмоторакс	198
8.2.16. Новообразования средостения	199
8.3. Лучевая семиотика повреждений легких и плевры	201
8.3.1. Пневмоторакс	201
8.3.2. Гемоторакс	201
8.3.3. Гемопневмоторакс	201
8.3.4. Ушиб легкого	201
8.3.5. Разрыв легкого	202
Контрольные вопросы	202
Глава 9. Лучевая диагностика заболеваний и повреждений сердца и грудной аорты	203
9.1. Методы лучевого исследования	203
9.1.1. Рентгенологический метод	203
9.1.2. Ультразвуковой метод	215
9.1.3. Рентгеновская компьютерная томография	218
9.1.4. Магнитно-резонансная томография	220
9.1.5. Радионуклидный метод	222
9.2. Лучевая семиотика заболеваний сердца и грудной аорты	225
9.2.1. Ишемическая болезнь сердца	225
9.2.2. Острый инфаркт миокарда	225
9.2.3. Митральный стеноз	225
9.2.4. Недостаточность митрального клапана	227
9.2.5. Стеноз устья аорты	227
9.2.6. Недостаточность аортального клапана	227
9.2.7. Экссудативный перикардит	228
9.2.8. Адгезивный констриктивный перикардит	229
9.2.9. Аневризмы грудной аорты	229
9.3. Лучевая семиотика повреждений сердца и грудной аорты	230
9.3.1. Ушиб сердца	230
9.3.2. Разрыв наружных стенок сердца	230
9.3.3. Разрыв грудной аорты	230
Контрольные вопросы	231
Глава 10. Лучевая диагностика заболеваний и повреждений глотки, пищевода, желудка и кишечника	232
10.1. Методы лучевого исследования	232
10.1.1. Рентгенологический метод	232
10.1.2. Компьютерная томография	241
10.1.3. Магнитно-резонансная томография	242
10.1.4. Ультразвуковой метод	242
10.1.5. Радионуклидный метод	243

10.2. Лучевая семиотика заболеваний пищевода, желудка и кишечника	243
10.2.1. Заболевания пищевода	243
10.2.2. Заболевания желудка	251
10.2.3. Заболевания кишечника	258
10.3. Лучевая семиотика повреждений глотки, пищевода, желудка и кишечника	266
10.3.1. Перфорация полого органа	267
10.3.2. Острая кишечная непроходимость	268
Контрольные вопросы	270
Глава 11. Лучевая диагностика заболеваний и повреждений паренхиматозных органов пищеварительной системы	271
11.1. Печень	271
11.1.1. Нормальная рентгеноанатомия	271
11.1.2. Методы лучевого исследования	273
11.1.3. Лучевая семиотика заболеваний печени и желчных путей	280
11.1.4. Лучевая семиотика повреждений печени и желчных путей	286
11.2. Поджелудочная железа и селезенка	288
11.2.1. Методы лучевого исследования	288
11.2.2. Лучевая семиотика заболеваний поджелудочной железы	293
11.2.3. Лучевая семиотика заболеваний селезенки	297
11.2.4. Лучевая семиотика повреждений поджелудочной железы	298
11.2.5. Лучевая семиотика повреждений селезенки	298
Контрольные вопросы	299
Глава 12. Лучевая диагностика заболеваний и повреждений мочевых органов	300
12.1. Методы лучевой диагностики в урологии	300
12.1.1. Рентгенологический метод	300
12.1.2. Ультразвуковой метод	307
12.1.3. Рентгеновская компьютерная томография	309
12.1.4. Магнитно-резонансная томография	311
12.1.5. Радионуклидный метод	312
12.2. Лучевая семиотика заболеваний мочевых органов	317
12.2.1. Удвоение почки	317
12.2.2. Дистопия почки	317
12.2.3. Нефроптоз	319
12.2.4. Абсцесс почки	319
12.2.5. Пиелонефрит хронический	319
12.2.6. Туберкулез почки	320
12.2.7. Мочекаменная болезнь	320
12.2.8. Гидронефроз	322
12.2.9. Опухоль почки	323
12.2.10. Киста почки	323
12.2.11. Поликистозная болезнь взрослых (поликистоз почек)	323
12.2.12. Опухоль мочевого пузыря	326
12.3. Лучевая семиотика повреждений мочевых органов	327
12.3.1. Повреждения почек	327

12.3.2. Подкапсульная гематома	327
12.3.3. Разрыв паренхимы	328
12.3.4. Разрыв почки с повреждением чашечно-лоханочного комплекса	328
12.3.5. Размножение почки, отрыв почечной ножки, тромбоз почечной артерии	328
12.3.6. Повреждения мочеточников	329
12.3.7. Повреждения мочевого пузыря	329
12.3.8. Повреждения мочеиспускательного канала	330
Контрольные вопросы	331

Глава 13. Лучевая диагностика заболеваний и повреждений

половых органов	332
13.1. Лучевая диагностика в андрологии	332
13.1.1. Рентгенологический метод	332
13.1.2. Ультразвуковой метод	333
13.1.3. Рентгеновская компьютерная томография	333
13.1.4. Магнитно-резонансная томография	333
13.1.5. Радионуклидный метод	334
13.2. Лучевая семиотика заболеваний мужских половых органов	334
13.2.1. Крипторхизм	334
13.2.2. Стриктура уретры	335
13.2.3. Рецидивирующее варикоцеле	335
13.2.4. Перекрут семенного канатика и яичка	335
13.2.5. Острый простатит	336
13.2.6. Хронический простатит	336
13.2.7. Доброкачественная гиперплазия предстательной железы	337
13.2.8. Рак предстательной железы	337
13.2.9. Опухоль яичка	338
13.2.10. Эректильная дисфункция	338
13.3. Лучевая семиотика повреждений мужских половых органов	339
13.4. Лучевая диагностика в гинекологии	339
13.4.1. Рентгенологический метод	339
13.4.2. Ультразвуковой метод	340
13.4.3. Рентгеновская компьютерная томография	341
13.4.4. Магнитно-резонансная томография	341
13.4.5. Радионуклидный метод	341
13.5. Лучевая семиотика заболеваний женских половых органов	341
13.5.1. Удвоение матки	341
13.5.2. Сальпингоофорит	342
13.5.3. Миома матки	343
13.5.4. Рак эндометрия	343
13.5.5. Рак яичников	343
13.5.6. Эндометриоз	344
13.5.7. Воспалительные заболевания молочной железы: мастит, абсцесс	345
13.5.8. Рак молочных желез	345
13.6. Лучевая семиотика повреждений женских половых органов	346

13.7. Лучевая диагностика в акушерстве	346
13.7.1. Ультразвуковой метод	347
13.7.2. Магнитно-резонансная томография	347
13.8. Лучевая семиотика патологии беременности	347
13.8.1. Внематочная беременность	347
13.8.2. Неразвивающаяся (замершая) беременность	347
13.8.3. Пузырный занос	347
13.8.4. Отслойка плаценты	347
Контрольные вопросы	348
Глава 14. Лучевая диагностика заболеваний и повреждений черепа и головного мозга	349
14.1. Методы лучевой диагностики	349
14.1.1. Рентгенологический метод	349
14.1.2. Рентгеновская компьютерная томография	354
14.1.3. Специальные методики компьютерной томографии	355
14.1.4. Магнитно-резонансная томография	356
14.1.5. Радионуклидный метод	359
14.1.6. Ультразвуковой метод	361
14.2. Лучевая семиотика заболеваний головного мозга	361
14.2.1. Опухоли головного мозга	361
14.2.2. Демиелинизирующие заболевания	365
14.2.3. Заболевания сосудов головного мозга	367
14.2.4. Инфекционные заболевания	370
14.2.5. Паразитарные заболевания (цистицеркоз, токсоплазмоз)	372
14.3. Лучевая семиотика повреждений черепа и головного мозга	372
14.3.1. Переломы костей свода и основания черепа	372
14.3.2. Повреждения головного мозга	377
Контрольные вопросы	381
Глава 15. Лучевая диагностика заболеваний и повреждений позвоночника и спинного мозга	382
15.1. Методы лучевой диагностики	382
15.1.1. Рентгенологический метод	382
15.1.2. Рентгеновская компьютерная томография	385
15.1.3. Магнитно-резонансная томография	386
15.1.4. Радионуклидный метод	389
15.2. Лучевая семиотика заболеваний спинного мозга	389
15.2.1. Опухоли спинного мозга	389
15.2.2. Демиелинизирующие заболевания	391
15.2.3. Воспалительные заболевания	391
15.2.4. Сосудистые заболевания	395
15.2.5. Интрамедуллярные кисты	397
15.2.6. Дегенеративно-дистрофические заболевания позвоночника	397
15.3. Лучевая семиотика повреждений позвоночника и спинного мозга ...	401
15.3.1. Повреждения шейного отдела позвоночника	401

15.3.2. Повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника	403
15.3.3. Повреждения спинного мозга	404
Контрольные вопросы	405
Глава 16. Лучевая диагностика заболеваний и повреждений органа зрения	406
16.1. Методы лучевого исследования	406
16.1.1. Рентгенологический метод	406
16.1.2. Рентгеновская компьютерная томография	407
16.1.3. Магнитно-резонансная томография	409
16.1.4. Ультразвуковой метод	410
16.1.5. Радионуклидный метод	410
16.2. Лучевая семиотика повреждений глаза и глазницы	410
16.2.1. Переломы стенок глазницы	410
16.2.2. Инородные тела	411
16.2.3. Внутриглазные кровоизлияния	411
16.2.4. Травматическая отслойка сетчатки	413
16.3. Лучевая семиотика заболеваний глаза и глазницы	414
16.3.1. Опухоль сосудистой оболочки глаза (меланобластома)	414
16.3.2. Опухоли глазницы	415
16.3.3. Дакриоцистит	415
16.3.4. Эндокринная офтальмопатия	415
Контрольные вопросы	416
Глава 17. Лучевая диагностика заболеваний и повреждений ЛОР-органов	417
17.1. Методы лучевого исследования	417
17.1.1. Рентгенологический метод	417
17.1.2. Рентгеновская компьютерная томография	418
17.1.3. Магнитно-резонансная томография	419
17.2. Лучевая семиотика заболеваний ЛОР-органов	420
17.2.1. Лучевая семиотика заболеваний уха	420
17.2.2. Лучевая семиотика заболеваний носа и околоносовых пазух ...	422
17.2.3. Лучевая семиотика заболеваний глотки и гортани	425
17.3. Лучевая семиотика повреждений ЛОР-органов	426
17.3.1. Повреждения и инородные тела височных костей	426
17.3.2. Повреждения и инородные тела околоносовых пазух	426
17.3.3. Повреждение гортани	427
Контрольные вопросы	428
Глава 18. Лучевая диагностика заболеваний и повреждений челюстно-лицевой области	429
18.1. Методы лучевого исследования	429
18.1.1. Рентгенологические методы	429
18.1.2. Рентгеновская компьютерная томография	431
18.1.3. Магнитно-резонансная томография	432
18.1.4. Ультразвуковой метод	432
18.2. Лучевая семиотика заболеваний челюстно-лицевой области	433
18.2.1. Кариеc	433

18.2.2. Флюороз, гипоплазия эмали и дентина, эрозия коронок, клиновидные дефекты шеек зубов	433
18.2.3. Пульпит, периодонтит	433
18.2.4. Гранулирующий остит, гранулематозный остит, фиброзный остит, периостит челюсти	433
18.2.5. Остеомиелит челюстей	434
18.2.6. Воспалительно-дистрофические и идиопатические изменения в пародонте — гингивит	434
18.2.7. Пародонтит и пародонтоз, пародонтолиз	434
18.2.8. Кисты и мягкотканые опухоли челюстей	435
18.2.9. Метастазы и рак челюсти	435
18.2.10. Ретенционные зубы, фрагменты корней зубов	435
18.2.11. Кальцинаты, слюнные камни на зубах	436
18.2.12. Плотные одонтогенные опухоли, плотные остеогенные опухоли	436
18.2.13. Деформирующий артроз, артрит височно-нижнечелюстного сустава	436
18.2.14. Анкилоз, контрактура височно-нижнечелюстного сустава	437
18.2.15. Пороки развития слюнных желез, сиалоаденит, слюннокаменная болезнь, свищи протоков слюнных желез	437
18.2.16. Кисты и опухоли слюнных желез	437
18.3. Лучевая семиотика повреждений костей лицевого скелета и зубов ...	438
18.3.1. Переломы костей верхней зоны лицевого скелета	438
18.3.2. Переломы костей средней зоны лицевого скелета	439
18.3.3. Переломы нижней челюсти	441
18.3.4. Переломы и вывихи зубов	442
18.3.5. Вывих нижней челюсти	442
Контрольные вопросы	443
Глава 19. Радиационная безопасность при проведении рентгенологических и радионуклидных диагностических исследований	444
19.1. Исходные предпосылки	444
19.1.1. Физические понятия и дозиметрические величины	444
19.1.2. Медицинские эффекты облучения человека	448
19.1.3. Дозы, учитывающие биологический эффект	451
19.1.4. Операционные дозиметрические величины	453
19.2. Принципы и нормы радиационной безопасности	454
19.2.1. Общие принципы радиационной безопасности	454
19.2.2. Нормы радиационной безопасности	456
19.2.3. Допустимые и контрольные уровни и уровни вмешательства	458
19.3. Обеспечение радиационной безопасности в рентгенорадиологических подразделениях	460
19.4. Оценка доз облучения пациентов и персонала	462
Контрольные вопросы	464
Список литературы	466
Предметный указатель	469

Глава 1

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И СОДЕРЖАНИЕ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ. ОРГАНИЗАЦИЯ ЛУЧЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лучевая диагностика — наука о теории и практике применения излучений для изучения строения и функции нормальных и патологически измененных органов и систем человека и животных с целью профилактики и выявления болезней.

Предмет лучевой диагностики как науки — варианты взаимодействия излучений с их приемниками и организмом человека.

Объект лучевой диагностики — организм человека, источники и приемники излучений.

К **методам** лучевой диагностики относятся:

1. *Рентгенологический метод* (рентгенодиагностика).
2. *Рентгеновская компьютерная томография* (КТ).
3. *Магнитно-резонансная томография* (МРТ).
4. *Ультразвуковой метод* (ультразвуковая диагностика).
5. *Радионуклидный метод* [сцинтиграфия, однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ), позитронная эмиссионная компьютерная томография (ПЭТ-КТ)].

Основными **критериями**, отличающими один метод лучевой диагностики от другого, являются:

- методология получения диагностических изображений;
- закономерности формирования изображения (скиалогия);
- лучевые симптомы патологических изменений (лучевая семиотика);
- принципы и особенности интерпретации данных;
- принципы дифференциальной диагностики.

Общим критерием отнесения перечисленных выше диагностических методов к лучевой диагностике является **применение различных излучений для неразрушающего и дистанционного изучения строения и функции органов и систем**.

Существует ряд не вошедших в широкую клиническую практику диагностических методов, также основанных на использовании некоторых излучений, но не отнесенных к лучевой диагностике: тепловидение, оптическая томография, оптическая когерентная томография, синхрофазотронная томография.

Все излучения, используемые в лучевой диагностике, разделяются на ионизирующие и неионизирующие.

Ионизирующие излучения — потоки квантов или частиц, вызывающие ионизацию атомов и молекул вещества, разрывы химических связей и образование активных свободных радикалов. Это ведет к прямому (непосредственно

излучением) и опосредованному (химическим воздействием свободных радикалов) повреждению биомолекул.

Ионизирующие излучения можно условно разделить на **фотонные** и **корпускулярные**. К фотонному излучению относят *электромагнитные колебания*, к корпускулярному — *поток частиц*. Понятия «электромагнитного», «фотонного» и «квантового» излучения можно считать эквивалентными.

К фотонным излучениям относятся **рентгеновское** (тормозное и характеристическое) и **γ -излучение**.

Тормозное рентгеновское излучение — это коротковолновое электромагнитное излучение, возникающее при изменении скорости (торможении) заряженных частиц (электроны в рентгеновской трубке) при взаимодействии с атомами тормозящего вещества (анода). Длина волны тормозного рентгеновского излучения не зависит от атомного номера тормозящего вещества, а определяется только энергией ускоренных электронов.

Характеристическое рентгеновское излучение возникает при изменении энергетического состояния атомов. При выбивании электрона из внутренней оболочки атома электроном или фотоном атом переходит в возбужденное состояние, а освободившееся место занимает электрон из внешней оболочки. При этом атом возвращается в нормальное состояние и испускает квант характеристического рентгеновского излучения с энергией, равной разности энергий на соответствующих уровнях.

Гамма-излучение (γ -излучение) — это коротковолновое электромагнитное излучение, испускаемое возбужденными ядрами атомов при радиоактивном распаде или ядерных реакциях, а также при аннигиляции античастиц (например, электрона и позитрона). Источниками γ -излучения являются атомы радиоактивных элементов (радионуклиды). Каждый радионуклид испускает γ -кванты своей определенной энергии.

К корпускулярным излучениям относятся потоки заряженных (α -излучение, β -излучение, позитроны, протоны) и нейтральных (нейтроны) частиц. В лучевой диагностике корпускулярные излучения не используются, а применяются только в лучевой и радионуклидной терапии.

К неионизирующим излучениям, применяемым в диагностических целях, относятся ультразвук, электромагнитные неквантовые колебания (радиочастотные резонансные импульсы), инфракрасное излучение, лазерное излучение.

Ультразвук — это упругие (звуковые) волны высокой частоты, продольно распространяющиеся в среде и создающие в ней механические колебания. Человеческий слух воспринимает звук частотой до 20 кГц. В медицине для диагностических целей используются ультразвуковые колебания частотами от 1 до 30 МГц. Источниками ультразвука в медицине являются монокристаллы некоторых веществ (кварц, бария титанат), из которых состоит *пьезоэлемент*. При деформации таких кристаллов под воздействием ультразвуковых волн на поверхности кристаллов возникают противоположные по знаку электрические заряды — *прямой пьезоэлектрический эффект*. При подаче на них переменного электрического заряда в кристаллах возникают механические колебания с излучением ультразвуковых волн. Таким образом, один и тот же пьезоэлемент может быть попеременно то приемником, то источником ультразвуковых волн.

Электромагнитные резонансные колебания — электромагнитные импульсы, возникающие как ответная реакция на возбуждение атомов водорода, находящихся в постоянном магнитном поле, определенной комбинацией внешних электромагнитных импульсов (явление *ядерного магнитного резонанса*). Источниками резонансных импульсов являются атомы водорода в молекулах веществ, составляющих органы и ткани человека, помещенного в постоянное магнитное поле *магнитно-резонансного томографа*. Эти импульсы возникают в ответ на внешнее радиочастотное (резонансное) воздействие.

Инфракрасное («тепловое») излучение — электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между красным концом видимого света и микроволновым излучением. Используется в *тепловидении* (при проведении термографии — графической оценки пространственного распределения температурных характеристик различных органов и систем человека). Инфракрасное излучение также применяется в методе *когерентной оптической томографии*, который в настоящее время еще не получил широкого распространения и не считается методом лучевой диагностики.

Лазерное излучение (от англ. **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation — усиление света посредством вынужденного излучения) — когерентное монохроматическое поляризованное узконаправленное излучение видимого диапазона. Источником излучения является оптический квантовый генератор, физической основой работы которого служит квантово-механическое явление вынужденного (индуцированного) излучения. Лазерное излучение используется в *оптической томографии*.

1.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ

1. **Обоснованность** назначения и использования методов лучевой диагностики у каждого конкретного больного с учетом клинической ситуации, показаний и противопоказаний к исследованию.

2. Использование наиболее информативных и минимально инвазивных методов и методик исследования для получения максимально возможной по **полноте и качеству** диагностической информации.

3. **Своевременность** проведения лучевых исследований.

4. **Экономическая целесообразность** проведения лучевых исследований с целью исключения не оправданных клиническими задачами затрат времени и средств.

5. Максимально возможное **снижение доз облучения** пациентов и персонала при проведении диагностических процедур с использованием ионизирующих излучений.

Реализация указанных принципов должна обеспечиваться сочетанием организационно-методических и технических условий. К организационно-методическим условиям реализации основных принципов лучевой диагностики относятся:

- знание и применение принципов стандартизации лучевых исследований;
- активное участие лечащего врача и специалиста лучевой диагностики в определении показаний к проведению исследований с использованием источников ионизирующего излучения;

- при выборе диагностического алгоритма в каждой конкретной ситуации — обязательный учет и дифференцированное включение в него тех методов, которые обеспечивают максимальную диагностическую отдачу, не снижая качества диагностики, при меньшей лучевой нагрузке или ее полном исключении;
- максимальное использование в процессе исследования защитных средств для анатомически рядом расположенных органов и систем пациента;
- постоянное повышение уровня знаний врача и лаборанта в вопросах радиационной безопасности;
- максимальное уменьшение дублирования однотипных исследований;
- рациональное построение технологии проведения исследований в целях снижения брака: работа с автоматическими проявочными машинами, правильное применение защитных средств, автоматических экспонометров, высокочувствительных приемников и преобразователей изображения;
- регистрация и учет полученной эффективной дозы.

Техническими условиями реализации принципов лучевой диагностики являются:

- обеспечение работоспособности аппаратов лучевой диагностики (своевременное сервисное обслуживание и ремонт, метрологическое обеспечение, радиационный контроль);
- использование современных технологических решений, обеспечивающих получение информативных медицинских изображений при минимальной лучевой нагрузке (цифровые твердотельные матричные детекторы для рентгенодиагностики, мультиспиральные технологии компьютерно-томографического сканирования и постпроцессорной обработки и т.п.).

Под **радиологическим изображением** понимают доступное зрительному восприятию распределение излучения любого вида, преобразованное в оптический диапазон, отображающий структуру и функцию биологического объекта. Изображения создаются специальными системами. Их назначение — сделать доступной для зрительного восприятия невизуальную информацию. Все изображающие радиологические системы: рентгеновские, радионуклидные, ультразвуковые, термографические, магнитно-резонансные — можно представить в виде принципиальной схемы (рис. 1.1).

Первый блок в этой схеме — **источник излучения**. Он может находиться вне пациента, как, например, при рентгенологическом и ультразвуковом исследовании. Его можно ввести внутрь организма, как при радионуклидных исследованиях. Излучение может генерироваться в теле человека спонтанно (при термографии) или вследствие внешнего возбуждения (при МРТ).

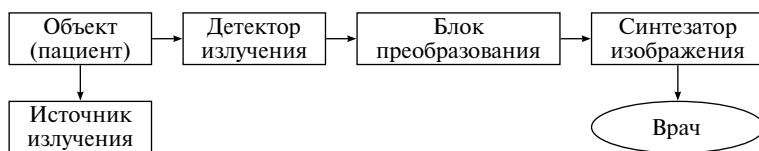


Рис. 1.1. Принципиальная схема получения радиологического изображения

Следующий блок в лучевой изображающей системе — **детектор излучения**. Он опосредованно взаимодействует с наблюдаемым объектом. Его назначение — уловить электромагнитное излучение или упругие колебания и преобразовать их в диагностическую информацию. В зависимости от вида излучения детектором могут быть флюоресцентный экран, фотопленка или рентгеновская пленка, газоразрядная камера или сцинтилляционный датчик, специальные материалы и сплавы и др.

В некоторых системах информационные сигналы из детектора поступают в **блок преобразования** и передачи видеосигнала. Назначение этого блока — повысить информационную емкость сигнала, убрать помехи («шум»), преобразовать его в удобный для дальнейшей передачи вид. Преобразования видеосигналов могут сводиться к изменению их физической природы (например, преобразование упругих колебаний или светового излучения в электрические сигналы) или заключаются в математической обработке с целью изменения их структуры.

Затем преобразованные сигналы передаются в **синтезатор изображения**. Он создает изображение исследуемого объекта — органа, части тела, всего человека. Разумеется, при разных лучевых методах изображение будет совершенно различным. Рентгенограммы раскрывают перед нами преимущественно макроморфологию органов и систем, а также позволяют судить об их функции на органном уровне. Радионуклидные сцинтиграммы обогащают нас сведениями о функции тканей и клеток, то есть отражают в первую очередь функциональную анатомию человека. Ультразвуковое исследование (УЗИ) позволяет судить о строении и функции органов путем анализа их акустической структуры. Термография — метод оценки теплового поля человека.

Лучевые исследования планирует и выполняет лучевой диагност. Это врач, получивший специальную подготовку по лучевой диагностике. Его деятельность складывается из приема визуальной информации, ее обработки, интерпретации результатов и принятия диагностического решения.

Врачу любого профиля приходится иметь дело с материалами лучевых диагностических исследований: рентгенограммами, сцинтиграммами, сонограммами, термограммами, компьютерными томограммами и т.д. Следовательно, каждый врач должен обладать элементарными сведениями, которые позволят ему при консультации специалиста по диагностической радиологии или с помощью его заключения правильно воспринять результаты лучевых исследований и оценить их значение для распознавания болезни и лечения больного.

Общие правила изучения любого медицинского диагностического изображения можно суммировать в следующем виде.

1.2. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЙ ПОРЯДОК ИЗУЧЕНИЯ ЛУЧЕВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

1. Общий осмотр изображения:

- а) определение примененной лучевой методики;
- б) установление объекта исследования (части тела, органа);
- в) общая оценка формы, величины, строения и функции исследуемой части тела (органа).

2. Детальное изучение изображения:
 - а) разграничение «нормы» и «патологического состояния»;
 - б) выявление и оценка лучевых признаков заболевания;
 - в) отнесение суммы обнаруженных признаков к определенному клиническому синдрому или общепатологическому процессу.
3. Разграничение заболеваний, обуславливающих установленный синдром и (или) патологический процесс.
4. Сопоставление изображений органа, полученных при разных лучевых исследованиях.
5. Сопоставление результатов лучевых исследований с данными других клинических, инструментальных и лабораторных исследований (клинико-лучевой анализ и синтез).

6. **Формулировка заключения по данным лучевых исследований.**

Анализ лучевого изображения следует начинать с образа всей картины в целом, поначалу не фиксируя внимания на какой-либо детали, даже яркой и кажущейся очень важной. Определив методику исследования (рентгенография, сонография, сцинтиграфия и др.) и установив, какая часть тела исследовалась, надо правильно расположить перед собой изображение.

Определяя размеры и форму изучаемого органа (части тела), устанавливают также проекцию исследования — прямую, боковую, косую, аксиальную. При общем осмотре изображения получают первое ориентировочное представление о состоянии исследуемого объекта.

При дальнейшем изучении деталей лучевой картины врач всегда сопоставляет видимые изображения с эталоном «нормы». Все, что отклоняется от привычной «средней» картины, должно быть подвергнуто анализу и расценено либо как вариант нормы, либо как проявление патологических изменений. Найденные патологические изменения затем оценивают в рамках всей картины, то есть совершается обратный переход — от частного к общему. Это позволяет отнести выявленные симптомы к определенному синдрому или общепатологическому процессу (воспаление, повреждение, опухоль и др.). Далее врач, руководствуясь знанием основ патологии и суммой полученных лучевых и клинических данных, проводит разграничение заболеваний, которые могут обусловить данный патологический процесс.

Все многообразие медицинских лучевых изображений, независимо от способов их получения, можно привести к аналоговым и цифровым изображениям.

К аналоговым изображениям относятся те, которые несут информацию непрерывного характера. Это изображения на обычных рентгенограммах, сцинтиграммах, термограммах.

К цифровым изображениям относятся те, которые получают с помощью компьютера. Они имеют ячеистую структуру (матрицу), представленную в памяти электронно-вычислительной машины (ЭВМ). Цифровыми изображениями являются образы, получаемые при КТ, дигитальных способах рентгенографии, рентгеноскопии и ангиографии, МРТ, ЭВМ-сцинтиграфии с компьютерной обработкой информации, дигитальной термографии, ультразвуковым сканировании. Таким образом, цифровые изображения, в отличие от аналоговых, обладают свойством дискретности. Поскольку в основе цифровых изображений лежит компьютерная технология, они становятся доступными для обработки на ЭВМ.

Аналоговые изображения могут быть преобразованы в цифровые, и наоборот, цифровые — в аналоговые. Для этих целей применяют специальные устройства: аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи.

Цифровое изображение формируется на растровом дисплее аналогично тому, как это происходит в телевизионных приемниках, то есть путем сканирования электронным лучом по строкам 30 раз в 1 с. Так создается режим восприятия изображения в реальном времени. Для создания цифрового изображения применяется специальный дисплейный процессор, который через систему связи (интерфейс) подключен к основной ЭВМ.

Память дисплейного процессора организована в виде матрицы, каждому из элементов которой соответствует свой определенный участок экрана дисплея. Подобная элементарная единица цифрового изображения, которой соответствует адресуемый участок памяти, получила название «пиксел». Таким образом, вся площадь растрового экрана дисплея представляет собой матрицу — совокупность пикселов. В лучевой диагностике экранная площадь дисплея может формироваться в виде матриц 32×32 , 64×64 , 256×256 , 512×512 , 1024×1024 пиксела. Чем на большее число пикселов разбивается экранная площадь дисплея, тем выше разрешающая способность системы отображения.

Каждый пиксел изображения формируется в памяти дисплейного процессора различным числом битов (единиц информации) — от 2 до 16. Чем большим числом битов информации представлен каждый пиксел изображения, тем богаче изображение по зрительским свойствам и тем больше информации об исследуемом объекте оно содержит. Так, 16-битный пиксел, чаще всего используемый в ультразвуковой диагностике, содержит 2^6 , то есть 64 оттенка серого цвета (от черного до белого).

В радионуклидной диагностике используется преимущественно 8-битный пиксел (байтная система формирования пиксела), в нем 2^8 , то есть 256 вариантов оценок-уровней серой шкалы. Нетрудно подсчитать, что матричное изображение 64×64 пиксела в радионуклидной диагностике требует 4069 байт памяти, а изображение 128×128 пикселов — 16 384 байт.

Более совершенные системы радионуклидной диагностики имеют изображение 256×256 и даже 512×512 пикселов. Для формирования таких образов нужно при 8-битном пикселе соответственно около 64 и 256 килобайт памяти компьютера. Увеличение объема адресуемой памяти неизбежно приводит к снижению скорости обмена информацией, что сопровождается увеличением времени, необходимого для построения каждого кадра изображения. В связи с этим мелкие растры (256×256 и 512×512) применяют преимущественно для получения статических изображений с высоким пространственным разрешением, то есть в диагностике очаговых изменений в органах, тогда как крупные растры (64×64 и 128×128) применяют главным образом для динамических исследований.

В КТ используют 2-байтные пикселы (16-битные). При размере матрицы 512×512 на получение одной компьютерной томограммы затрачивается около 412 килобайт памяти компьютера. Приблизительно такой же объем памяти необходим для получения одной МР-томограммы.

В цифровых способах рентгенокопии и рентгенографии применяется дисплей с очень мелкой матрицей (1024×1024). Такое изображение практически неотличимо от обычного полутонного аналогового. Однако для получения этого

дигитального рентгеновского изображения нужно более 1 мегабайта компьютерной памяти. Еще больший объем памяти (более 2 мегабайт) необходим для построения одного кадра в *дигитальной субтракционной ангиографии* — компьютеризированном контрастном рентгенологическом исследовании сосудов.

Для цветных дисплеев, наиболее широко применяемых в радионуклидной диагностике и термографии, требуется в 3 раза бóльшая память компьютера, чем для черно-белых, по числу основных цветов — красный, зеленый, синий. Понятно, что для реализации такой задачи нужны мощные компьютеры с хорошо организованным программным обеспечением. Все медицинские изображения в лучевой диагностике могут существовать в двух вариантах: в виде твердых копий — рентгенограмм, отпечатков на бумаге, фотобумаге, на магнитных носителях — лентах, дисках; в нефиксированном виде — на экране дисплея или рентгенодиагностического аппарата.

Существенным преимуществом цифровых изображений является возможность их компьютерной обработки. Первый, предварительный этап компьютерной обработки изображений осуществляется во время сбора информации, то есть в момент получения самого изображения. С этой целью выполняется коррекция изображения, «выправляющая» технические дефекты детекторов излучения, например неоднородность в чувствительности по полю сцинтилляционного датчика гамма-камеры. На этом же этапе осуществляется коррекция физиологических факторов, ухудшающих изображение. Например, при радионуклидном исследовании почек исключают влияние радиоактивности, имеющейся в кровеносных сосудах и окружающих мягких тканях, при исследовании печени необходимо учесть и исключить динамическую нерезкость органа, вызванную его смещениями при дыхании.

Следующий этап компьютерной обработки изображений — аналитический. Его проводят во время анализа изображений. Так, с целью улучшения изображения можно провести сглаживание, то есть выравнивание неоднородностей, контрастирование органов путем отсечки мешающего восприятию фона, дополнительное раскрашивание отдельных участков изображения.

Для того чтобы улучшить выявление патологических очагов в органе, создают *изосчетные кривые*, то есть линии, соединяющие точки изображения с одинаковым накоплением радиоактивного вещества или имеющие одинаковую оптическую плотность, а также строят *профилограммы*, показывающие распределение радиоактивного вещества в органе вдоль произвольно выбранной линии. С этой же целью получают псевдообъемное, или аксонометрическое, изображение органов. Естественно, что все эти преобразования изображений выполняют с помощью компьютера.

Своеобразной формой обработки изображений является алгебра кадров: сложение или вычитание нескольких изображений с помощью компьютера. Таким путем, например, осуществляют визуализацию паразитовидных желез, вычитая из одного изображения, полученного с помощью радионуклида таллия-199 (^{199}Tl , Таллия хлорид $^{199}\text{Tl}^{\clubsuit}$), другое, полученное с помощью радионуклида технеция-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$).

Аналогичным приемом пользуются для повышения контрастности и «привязки» к анатомическим ориентирам изображения опухолей. В этих случаях

складывают два изображения: одно из них отражает накопление туморотропного вещества в опухоли, другое — форму и структуру исследуемого органа. Итоговая суммарная картина дает хорошее представление о расположении опухоли в органе.

С помощью компьютера можно обрабатывать кривые, полученные при анализе медицинских изображений. Можно, например, сгладить эти кривые, то есть сделать их более наглядными. Специальные программы компьютерной обработки позволяют произвести математическое моделирование изучаемых функций, что помогает выявить патологические изменения и определить их выраженность.

Выделение зон интереса (участков рентгенологического, радионуклидного, ультразвукового изображения) — один из главных этапов обработки изображений на ЭВМ. Зоной интереса может быть весь орган или его часть. На одном изображении может быть несколько зон интереса, например участок исследуемого органа, окружающих тканей, магистральных сосудов.

Форму, размеры и число зон интереса выбирает врач в зависимости от вида исследования и конкретных задач диагностики. Делает он это с помощью курсора на экране дисплея либо автоматически, по специальной программе обработки изображений. Выбранную зону интереса можно изучать отдельно или во взаимосвязи с другими участками. В заданной зоне можно с помощью ЭВМ проследить во времени прохождение рентгеноконтрастного вещества или радионуклида. В результате такого анализа получают кривые, называемые *гистограммами*. Они отражают функцию органа в целом либо отдельных его участков.

Интересным и перспективным направлением использования компьютера является автоматизированное разделение медицинских изображений на норму и патологию. Особенно эффективна такая обработка при массовых обследованиях, например при флюорографии. В перспективе с помощью компьютеров появится возможность автоматизированной оценки патологических изменений.

Одним из важнейших направлений в визуализации органов является получение функциональных изображений. Можно выделить три типа функциональных изображений: характеризующие двигательную активность органа (сократительную, эвакуаторную и др.) — 1-й тип изображения, характеризующие экскреторную функцию органа — 2-й тип, отражающие метаболическую активность в органе — 3-й тип.

Получить функциональные изображения 1-го типа, то есть исследовать двигательную активность органов, можно на экране рентгенодиагностического аппарата или дисплее аппарата для ультразвуковой диагностики. Для регистрации функциональных изображений 1-го типа производят запись последовательностей кадров на электронные носители. Серию функциональных изображений можно записывать и хранить также на жестком диске компьютера.

Для исследования эвакуаторной функции органов в них предварительно вводят специальные вещества — рентгеноконтрастные при рентгенологическом методе исследования или радиофармацевтические препараты (РФП) — при радионуклидном. Наблюдая с помощью аппаратов для лучевой диагностики за опорожнением органа от введенного вещества, судят о его (органа) эвакуаторной функции. Применение для этих целей компьютерной технологии позволяет оценить эвакуаторную функцию органа в точных количественных показателях.

Функциональные изображения 2-го типа относятся к изучению экскреторной функции органов. С этой целью применяют вещества, избирательно и быстро выделяющиеся из крови исследуемыми органами. Таким путем изучают, например, выделительную функцию почек или печени.

Функциональные изображения 3-го типа — метаболические. Их используют преимущественно в радионуклидной диагностике. С этой целью в организм вводят РФП, включающийся в обмен веществ в исследуемом органе.

1.3. ОРГАНИЗАЦИЯ ЛУЧЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В лечебных учреждениях проведение лучевых исследований организуется в специализированных кабинетах, которые объединены в отделы (центры) и отделения лучевой диагностики. Как правило, в состав таких отделений (центров) входят:

- рентгенодиагностические отделения (кабинеты);
- отделения (кабинеты) рентгеновской компьютерной томографии;
- отделения (кабинеты) магнитно-резонансной томографии;
- отделения (кабинеты) ультразвуковой диагностики;
- отделения (лаборатории, кабинеты) радионуклидных исследований [ОФЭКТ, позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), радиоиммунных исследований];
- группа радиационного контроля.

В состав рентгенодиагностических отделений могут входить кабинеты различного назначения (рентгенодиагностические кабинеты общего профиля, флюорографические, маммографические, рентгеностоматологические, ангиографические и т.п.), в зависимости от специализации лечебного учреждения. В некоторых лечебных учреждениях в состав рентгеновских центров входят кабинеты рентгенохирургических методов диагностики и лечения (интервенционной радиологии).

В соответствии с номенклатурой врачебных специальностей к лучевой диагностике относятся четыре из них:

- **рентгенология** — объединяет врачей-рентгенологов, имеющих первичную специализацию и сертификат по специальности «рентгенология» и работающих в сферах рентгенодиагностики, рентгеновской КТ и МРТ;
- **радиология** — объединяет врачей-радиологов, имеющих первичную специализацию и сертификат по специальности «радиология», работающих в сфере радионуклидной диагностики и лучевой терапии;
- **ультразвуковая диагностика** — объединяет врачей, имеющих первичную специализацию и сертификат по специальности «ультразвуковая диагностика» и работающих в сфере ультразвуковой диагностики;
- **рентгеноэндovasкулярные диагностика и лечение** — объединяет врачей, имеющих первичную специализацию и сертификат по специальности «рентгеноэндovasкулярные диагностика и лечение» и работающих в сфере внутрисосудистых интервенционных лечебных и диагностических вмешательств под рентгеновским контролем.

На все виды лучевых исследований пациента направляет лечащий врач с учетом возможностей каждого метода в конкретной клинической ситуации, показаний и противопоказаний к его применению. Конкретный объем лучевого исследования (выбор методики, использование контрастных препаратов, выбор радиофармацевтического препарата и т.д.) определяет врач лучевой диагностики, поскольку за качество и информативность проведенного исследования отвечает именно он.

При назначении лучевого исследования пациенту лечащий врач в истории болезни или амбулаторной карте четко формулирует предварительный клинический диагноз, указывает результаты предшествующих исследований (лабораторных и инструментальных), цель исследования и область тела, подлежащую исследованию. Показания к лучевому исследованию определяются в тесном взаимодействии с лучевым диагностом, особенно при необходимости выполнения сложных, высокотехнологичных процедур.

Работа по планированию и выполнению лучевых исследований состоит из нескольких этапов:

- прием и изучение медицинских документов, направления на исследование;
- выбор оптимальной методики и объема исследования;
- подготовка пациента к проведению исследования;
- подготовка аппаратуры и расходных материалов;
- непосредственное выполнение диагностической процедуры;
- оформление протокола лучевого исследования и заключения.

Контрольные вопросы

1. Перечислите методы лучевой диагностики и назовите их отличительные критерии.
2. Что является предметом и объектом лучевой диагностики как науки?
3. Назовите основные виды ионизирующего излучения и их характеристики.
4. Перечислите основные виды неионизирующего излучения и их характеристики.
5. Каковы основные принципы лучевой диагностики?
6. Какие врачебные специальности относятся к лучевой диагностике?