

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Was ist Nuklearmedizin?	1
1.2	Die Tracer-Methode	2
1.3	Geschichte der Nuklearmedizin	3
1.3.1	Entwicklung der kernphysikalischen Grundlagen	3
1.3.2	Entwicklung radiochemischer Grundlagen	5
1.3.3	Entwicklung molekularbiologischer Grundlagen	6
1.3.4	Entwicklung messtechnischer Grundlagen	7
1.3.5	Entwicklung klinischer Anwendungen	10
1.4	Vergleich mit anderen bildgebenden Verfahren	10
2	Physikalische Grundlagen der Nuklearmedizin	13
2.1	Atomaufbau	13
2.1.1	Atomkern	13
2.1.2	Atomhülle	14
2.2	Radioaktivität	15
2.2.1	Kernumwandlungen	16
2.2.2	Weitere Strahlungsarten	21
2.2.3	Nuklidkarte	24
2.2.4	Umwandlungsschema	26
2.2.5	Umwandlungsgesetz und Halbwertszeit	28
2.2.6	Einheit der Radioaktivität	33
2.2.7	Radioaktive Umwandlung – Zusammenfassung	33
2.2.8	Berechnungsbeispiele für Aktivitäten	34
2.2.9	Bedeutung von 10 T, 20 T, 30 T	35
2.3	Allgemeine Eigenschaften ionisierender Strahlung	37
2.3.1	Strahlungsparameter	38
2.3.2	Energiespektren	38
2.3.3	Wechselwirkung geladener Teilchen mit Materie	39
2.3.4	Wechselwirkung von Photonenstrahlung mit Materie	41
2.3.5	Schwächungsgesetz und Halbwertsdicke	44
2.3.6	Abstandsquadratgesetz	51
2.3.7	Weitere Strahlungseffekte in Materie	51

2.4	Dosis und Dosisleistung	52
2.4.1	Wirkung Ionisierender Strahlung	52
2.4.2	Dosisbegriffe	52
2.4.3	Dosisleistung	53
3	Herstellung von Radionukliden	55
3.1	Radionuklide in der Nuklearmedizin	55
3.1.1	Nuklide der in-vitro-Diagnostik	56
3.1.2	Nuklide der in-vivo-Diagnostik	57
3.1.3	Nuklide der Radionuklidtherapie	59
3.2	Radionuklidgenerator	60
3.2.1	Mo/Tc-Generator	61
3.2.2	Aufbau und Funktion des Technetium-Generators	61
3.2.3	Aufbau und Funktion des Ge-68/Ga-68-Generators	63
3.2.4	Andere Generatoren	64
3.3	Zyklotron	64
3.4	Kernreaktor	67
4	Detektoren	69
4.1	Prinzip des Strahlungsnachweises	69
4.1.1	Energieübertragung auf Materie durch Photonenstrahlung	69
4.1.2	Arten von Strahlungsdetektoren	70
4.1.3	Bestandteile eines Strahlungsmessgerätes	71
4.2	Gasgefüllte Detektoren	71
4.2.1	Ionisationsbereich	72
4.2.2	Proportionalbereich	73
4.2.3	Auslösebereich	74
4.3	Halbleiterdetektoren	75
4.3.1	Germanium-Detektoren	76
4.3.2	Kadmiumtellurid-Detektoren	78
4.3.3	Kadmiumzinktellurid-Detektoren	78
4.4	Lumineszenzdetektoren	79
4.5	Szintillationsdetektoren	80
4.5.1	NAI(TL)-Szintillationsdetektor	81
4.5.2	Andere anorganische Szintillationsdetektoren	83
4.5.3	Eigenschaften anorganischer Szintillationsdetektoren	84
4.5.4	Organische Szintillatoren	84
4.5.5	Photomultiplier	85
4.5.6	Funktion des Szintillationsdetektors – Zusammenfassung	87

5	Grundlagen der Messtechnik	89
5.1	Elektronischer Aufbau einer Messeinrichtung	89
5.1.1	Komponenten der Messelektronik	89
5.1.2	Hochspannungsversorgung – HV	91
5.1.3	Vorverstärker – VV	91
5.1.4	Verstärker – V	91
5.1.5	Impulshöhenanalysator – PHA	91
5.1.6	Registriereinheit	95
5.1.7	Analog-Digital-Konverter	97
5.2	Auswertung der Energieinformation	99
5.2.1	Impulshöhenspektrum	99
5.2.2	Energiekalibrierung	102
5.2.3	Energieauflösung	103
5.2.4	EnergiefensterEinstellung	106
5.2.5	Gammaspektroskopie	107
5.3	Generelle Eigenschaften einer Messeinrichtung	108
5.3.1	Empfindlichkeit einer Messeinrichtung	108
5.3.2	Empfindlichkeits-Kalibrierung	117
5.3.3	Nulleffekt und Hintergrund	118
5.3.4	Zeitliche Auflösung einer Messeinrichtung	121
5.4	Grundlagen der Statistik für nuklearmed. Zwecke	124
5.4.1	Messgenauigkeit	124
5.4.2	Statistische Methoden	125
5.4.3	Zuverlässigkeit eines Messwerts aus statistischer Sicht	129
5.4.4	Nuklearmedizinische Zählstatistik	131
5.4.5	Erkennungs- und Nachweisgrenze	135
6	Strahlenüberwachungsgeräte	137
6.1	Aktivitätsmessgeräte	137
6.1.1	Aktivimeter	137
6.1.2	Kontaminationsmonitore	142
6.1.3	Gammaspektrometer	143
6.1.4	Ganzkörperzähler	145
6.2	Dosis- und Dosisleistungsmessgeräte	148
6.2.1	Personendosimeter	148
6.2.2	Dosisleistungsmessgeräte	150
7	Sonden-Messgeräte	153
7.1	Aufbau und Funktion	153
7.1.1	Detektor	153
7.1.2	Kollimator und Messfeld	154

- 7.1.3 Messelektronik 155
- 7.2 Anwendungsmöglichkeiten 155
 - 7.2.1 Organmessplatz (Uptake-Messplatz) 155
 - 7.2.2 Ganzkörperzähler 157
 - 7.2.3 Intraoperative Sonden 157
- 7.3 Konstanzprüfung von Sonden-Messgeräten 159

- 8 Szintillationskamera 161**
 - 8.1 Einleitung 161
 - 8.1.1 Allgemeines zur Bildgebung 161
 - 8.1.2 Allgemeines zur Gammakamera 163
 - 8.2 Detektorkopf 165
 - 8.2.1 Übersicht 166
 - 8.2.2 Komponenten des Detektorkopfes 166
 - 8.3 Impulsverarbeitung und Bilderzeugung 169
 - 8.3.1 Ausgangssignale des Detektorkopfes 169
 - 8.3.2 Signalverarbeitung 169
 - 8.3.3 Bildspeicherung 170
 - 8.4 Kenngrößen 174
 - 8.4.1 Planare Inhomogenität 175
 - 8.4.2 Planare örtliche Auflösung 177
 - 8.4.3 Planare örtliche Linearität 178
 - 8.4.4 Planare System-Empfindlichkeit 178
 - 8.4.5 Energieauflösung 179
 - 8.4.6 Inhärente Energieabhängigkeit der Ortung 180
 - 8.5 Kollimatoren 180
 - 8.5.1 Kollimatortypen 181
 - 8.5.2 Abbildungseigenschaften des Kollimators 181
 - 8.5.3 Parallelloch-Kollimator 184
 - 8.5.4 Pinhole-Kollimator 186
 - 8.5.5 Fächerstrahl-Kollimatoren 186
 - 8.5.6 Sonderformen 187
 - 8.6 Inhomogenitätskorrektur 187
 - 8.6.1 Energiekorrektur 188
 - 8.6.2 Linearitätskorrektur 189
 - 8.6.3 Inhomogenitätskorrektur 189
 - 8.7 SPECT (Tomographie) 191
 - 8.7.1 Einleitung 191
 - 8.7.2 Aufnahme der Projektionsbilder 192
 - 8.7.3 Rotationszentrum 195

8.7.4	Kenngrößen bei SPECT	196
8.7.5	SPECT/CT	197
8.7.6	Informationsdichte und Detailerkennbarkeit	197
8.8	Sachgemäße Behandlung einer Gammakamera	198
9	PET-Scanner	201
9.1	Physikalische Grundlagen der PET	201
9.1.1	β^+ -Umwandlung und Annihilation	201
9.1.2	Positronenstrahler für PET	203
9.2	Technische Grundlagen der PET	204
9.2.1	Koinzidenzmessung	205
9.2.2	Flugzeitmessung (TOF)	207
9.3	Schichtbilderzeugung	208
9.3.1	Strahlungsnachweis im Detektor	208
9.3.2	Ortsbestimmung des Szintillationsereignisses	210
9.3.3	Bestimmung der Koinzidenzlinien	210
9.3.4	2D- und 3D-Messung	214
9.3.5	Quantitative Aktivitätsbestimmung und SUV	219
9.4	Untersuchungsgeräte	222
9.4.1	Gerätetypen – Übersicht	222
9.4.2	PET-Scanner mit BGO-Detektoren	223
9.4.3	PET-Scanner mit anderen Detektoren	224
9.4.4	PET-Scanner mit langen Röhren	224
9.5	Morphologische und funktionelle Bildgebung	225
9.5.1	Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Verfahren zur Bildgebung	225
9.5.2	PET/CT	226
9.5.3	PET/MR	230
10	Rekonstruktion von Schichtbildern	233
10.1	Bildberechnung	233
10.1.1	Projektionsbilder und Sinogramme	235
10.1.2	Filterung	237
10.1.3	Gefilterte Rückprojektion	242
10.1.4	Iterative Verfahren	244
10.1.5	Zeitlicher Ablauf des Filtereinsatzes	249
10.2	Schichtdarstellung	249
10.3	Schwächungskorrektur	251
10.3.1	Allgemeines zur Schwächungskorrektur	251
10.3.2	Schwächungskorrektur nach Chang	253
10.3.3	Transmissionsmessung mit Hilfe radioaktiver Strahlenquellen	255
10.3.4	Transmissionsmessung mit Hilfe einer Röntgenröhre (CT)	258

10.4	Weitere Korrekturen	261
10.4.1	Streustrahlungskorrektur	261
10.4.2	Teilvolumen-Effekt	267
10.4.3	Zerfallskorrektur	269
10.4.4	Totzeitkorrektur	270
11	Qualitätskontrolle	273
11.1	Rechtliche Rahmenbedingungen	273
11.1.1	EU-Recht	273
11.1.2	Nationales Recht	274
11.1.3	Normen und Standards	276
11.2	Verfahren der Qualitätskontrolle	277
11.2.1	Abnahme- und Teilabnahmeprüfung	277
11.2.2	Konstanzprüfung	278
11.3	Allgemeine Maßnahmen	279
11.4	Konstanzprüfung Aktivimeter	279
11.4.1	Übersicht	279
11.4.2	Prüfungen	280
11.5	Konstanzprüfung Gammakamera, SPECT-Kamera	283
11.5.1	Übersicht	283
11.5.2	Prüfungen	284
11.6	Konstanzprüfung PET	291
11.6.1	Übersicht	291
11.6.2	Prüfungen	293
11.7	Konstanzprüfung in vivo-/in vitro-Messplätze und Gammasonden . .	297
11.7.1	Übersicht	297
11.7.2	Prüfungen	299

Anhang	301
Verzeichnis der InfoBoxen	303
Abbildungsverzeichnis	307
Tabellenverzeichnis	311
Literaturverzeichnis	313
Quellennachweis Abbildungen	315
Glossar	323
Akronyme	327
Personenverzeichnis	331
Nuklidverzeichnis	333
Stichwortverzeichnis	337