

Dosimetrie der Strahlungen radioaktiver Stoffe

Von

Dr. phil. Walter Minder

ao. Professor für medizinische Strahlenphysik
an der Universität und Leiter des Radium-Institutes
in Bern

Mit 137 Textabbildungen



Wien
Springer-Verlag

1961

ISBN-13:978-3-7091-7907-9

e-ISBN-13:978-3-7091-7906-2

DOI: 10.1007/978-3-7091-7906-2

Alle Rechte,
insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten

Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages
ist es auch nicht gestattet, dieses Buch oder Teile daraus
auf photomechanischem Wege (Photokopie, Mikrokopie)
oder sonstwie zu vervielfältigen

© by Springer-Verlag in Vienna 1961

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1961

Vorwort

Strahlendosimetrie — als die Summe aller Erkenntnisse und Methoden zum Ausdruck der einem System, insbesondere dem menschlichen Körper oder Teilen desselben „einverleibten“ Energie ionisierender Strahlungen in Maß und Zahl — ist in den vergangenen Jahren eine theoretisch und experimentell sehr wohl fundierte Wissenschaftsdisziplin geworden. Ihre Bedeutung als wichtigste Voraussetzung jeglicher Einsicht in irgendwelche Bestrahlungsfolgen steht nirgends zur Diskussion; ihre äußere Stellung als „Randgebiet“ harrt noch mancherorts der ihr gebührenden Anerkennung. Strahlendosimetrie ist heute nicht mehr nur eine als mehr oder weniger wichtig angesehene „technische Hilfe“ bei der Strahlentherapie, sondern weit über ihr Ursprungsgebiet hinaus Grundlage zahlreicher Aufgaben aus Physik, Chemie, Biologie und Technologie und schließlich Ausgangspunkt der heute so wichtig scheinenden Strahlensanitarygiene. Trotzdem ist ihr Ursprung, die Strahlentherapie, ihr innerlich dankbarster Gegenstand geblieben.

Mit dem ungeheuren Aufschwung der Bedeutung der Atomtechnik und dem „Ausbruch“ der Radioaktivität über das ganze periodische System der Elemente wurden die Aufgaben der „Dosimetrie der Strahlungen radioaktiver Stoffe“ nicht nur sehr stark verbreitert, sondern sie sind auch sehr erheblich komplexer und vertiefter geworden. Entsprechend ist auch der erforderliche Aufwand an konkreter Rechen- oder Meßarbeit, oder beider, gewachsen. Es ist der Hauptzweck des vorliegenden Buches, diesen Aufwand im allgemeinen, besonders aber bei der Therapie mit radioaktiven Stoffen, möglichst erleichtern zu helfen.

Als ich vor 20 Jahren die mir damals wichtig scheinenden Tatsachen und Gesetzmäßigkeiten der „Radiumdosimetrie“ erstmals in abgeschlossener Form zusammenstellte, durfte ich die Genugtuung erleben, damit zahlreichen Fachgenossen, Ärzten und Physikern eine Hilfe geleistet zu haben. Dieses Büchlein hat überall eine sehr bereitwillige Aufnahme gefunden und mir zahlreiche Freunde erworben. Es war trotz dem Krieg in kurzer Zeit vergriffen und wurde 1944 — allerdings ohne Wissen des Autors und des Verlegers — „in the Public Interest by Authority of the Alien Property Custodian“ photomechanisch vervielfältigt.

Wenn man heute eine Zusammenstellung der „Dosimetrie der Strahlungen radioaktiver Stoffe“ zu schreiben versucht, so steht man nicht nur einer „stofflich“ sehr stark erweiterten Aufgabe gegenüber, sondern auch einem innern Zwiespalt. Die Verantwortung für das Ergebnis einer

strahlentherapeutischen Maßnahme lastet auf den Schultern des Arztes. Er sollte also eine derartige Zusammenstellung lesen, verstehen und verwenden können. Strahlendosimetrie ist aber andererseits in konkreter Durchführung und besonders in ihren Voraussetzungen mit vielen grundsätzlichen und technischen physikalischen Schwierigkeiten verbunden und erfordert zusätzlich ein erhebliches mathematisches Können, so daß auch für einen theoretisch und meßtechnisch gut geschulten Physiker zu ihrem vollen Verständnis eine längere, intensive Einarbeit erforderlich ist. Ein Buch über Dosimetrie sollte aber auch ihm eine Hilfe sein.

Die vorliegende Arbeit stellt eine mir „vernünftig“ scheinende Synthese zwischen „Praxis und Theorie“ dar. Es ist versucht worden, praktisch unmittelbar oder nach wenigen elementaren Umrechnungen brauchbare Zahlenwerte der Dosis in Form von Tabellen, Kurven und Plänen zu vermitteln, und gleichzeitig sollte für dieselben in einem etwas erweiterten Rahmen eine korrekte, aber nicht allzu anspruchsvolle Begründung angegeben werden. Der therapeutische Praktiker wird deshalb die meisten Zahlenwerte ohne erheblichen vorgängigen Arbeitsaufwand verwenden können, dem Dosimetriefachmann andererseits soll Material für ein vertiefteres Studium allgemeiner und konkreter Aufgaben zur Verfügung gestellt werden. Für den letzteren sind insbesondere auch die recht umfangreichen Literaturangaben gedacht, welche den einzelnen Abschnitten beigelegt wurden und dieselben damit auch äußerlich einigermaßen in sich abschließen. Der Absicht einer gewissen Geschlossenheit der einzelnen Abschnitte wegen konnten einige Wiederholungen nicht vermieden werden.

Wiederum erfreute ich mich vielseitiger und freundlicher Hilfe. So wurde mir von den Verlagen Sauerländer, Aarau, und Huber, Bern, gestattet, Abbildungen und Textauschnitte aus in diesen Verlagen vor kurzem erschienenen Büchern, an denen ich mitgearbeitet hatte (MOHLER: „Chemische Wirkungen ionisierender Strahlungen“, Sauerländer; FIEBELKORN und MINDER: „Therapie mit Röntgenstrahlen und radioaktiven Stoffen“, Huber), zu übernehmen. Gleiches gilt für die früher im Springer-Verlag, Wien, erschienenen Bücher LIECHTI-MINDER: „Röntgenphysik“ (1955) und MINDER: „Radiumdosimetrie“ (1941). Schließlich haben mir mehrere Stellen wertvolle Bildunterlagen zur Verfügung gestellt.

All den Helfern sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Mein besonderer Dank gebührt aber dem Springer-Verlag in Wien für sein stets freundliches und geduldiges Verständnis bei allen meinen Wünschen, sowie für die schöne Ausstattung der vorliegenden Arbeit.

Bern, im Herbst 1960

Walter Minder

Inhaltsverzeichnis

Erster Abschnitt

Erscheinungen und Gesetze der Radioaktivität

	Seite
1. Einleitung	1
2. Der Bau des Atoms.....	3
a) Theorie der Elektronenhülle	6
b) Der Atomkern	11
c) Stabilitätsbetrachtungen	14
3. Die Strahlungen radioaktiver Stoffe	17
a) Die α -Strahlen	18
b) Die β -Strahlen	22
c) Die γ -Strahlen	26
d) Der K -Einfang	29
e) Sekundärstrahlen	30
4. Der radioaktive Zerfall	30
a) Form des Zerfallsgesetzes	30
b) Gesetzmäßigkeiten von Zerfallsreihen	34
α) Das radioaktive Gleichgewicht	34
β) Kurzlebige Tochtersubstanz einer langlebigen Muttersubstanz	35
γ) Der kurzlebige aktive Niederschlag der Radiumemanation	36
5. Radioaktive Stoffe	37
a) Allgemeine Bemerkungen.....	37
b) Natürliche radioaktive Stoffe	37
c) Künstliche Radioaktivität	41
α) Erzeugung künstlich radioaktiver Stoffe	42
β) Einfache Kernreaktionen	44
γ) Die Kernspaltung	48
Literatur.....	51

Zweiter Abschnitt

Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie

1. Die Erscheinungen der Strahlenschwächung	55
a) Formale Gesetzmäßigkeiten	55
b) Die Schwächungsvorgänge bei γ -Strahlen	59
α) Der Photoeffekt (Absorptionsvorgang)	62
β) Der Streuvorgang (COMPTON-Effekt)	63

	Seite
γ) Der Paarbildungsvorgang	66
δ) Gegenseitige Beziehungen der Einzelvorgänge und theoretische Übersicht	67
c) Die Schwächung von β -Strahlen	72
d) Die Schwächung von α -Strahlen	77
e) Strahlengemische, Filterung	79
2. Energieübertragung auf stoffliche Systeme	80
a) Strahlenwirkungen auf Gase	81
b) Strahlenwirkungen auf kondensierte Systeme	92
α) Flüssigkeiten	92
β) Feste Körper	94
c) Grundsätzliches zur Wirkung auf biologische Systeme	95
α) Physikalische Primärwirkungen	96
β) Physikochemische Primärwirkungen	97
Literatur	99

Dritter Abschnitt

Meßmethoden radioaktiver Stoffe

1. Allgemeine Zielsetzung	104
2. Die Gasionisation als Meßwirkung für die Strahlungen radioaktiver Stoffe	105
3. Prinzip der Ionisationsmessung	107
4. Zählverfahren	109
5. Interpretation der Meßergebnisse	111
a) Messungen der Aktivität	112
b) Messung α -strahlender Stoffe	115
c) Messung der Radiumemanation (Radon)	116
d) Gewichtsäquivalenz für γ -strahlende Präparate	119
Literatur	122

Vierter Abschnitt

Die Strahlendosis

1. Definitionen und Einheiten	128
a) Der Dosisbegriff	128
b) Einheiten der Strahlendosis	130
α) Ältere Einheiten	130
β) Das Röntgen; r	131
c) Elektronen- und Korpuskularstrahlen	134
d) Relative biologische Wirksamkeit; das „rem“	137
2. Zusammenhang zwischen Aktivität und Strahlendosis	138
a) Einheit der Radioaktivität	138
b) Grundlagen der Dosisberechnung bei α -strahlenden Nucliden ...	139
c) Grundlagen der Dosisberechnung bei β -strahlenden Nucliden ...	140
d) Dosis und Aktivität bei γ -Strahlen; die Dosiskonstante	142
α) Definition und Berechnung der Dosiskonstante	142
β) Messung der Dosiskonstante	144
γ) Das Luftäquivalenzprinzip	146
Literatur	155

Fünfter Abschnitt

Praktische Dosimetrie

	Seite
A. Externe Bestrahlungen.....	160
1. Berechnung der γ -Strahlendosis	161
a) Einige allgemeine Gleichungen	162
α) Der strahlende Punkt.....	162
β) Die strahlende Gerade	163
γ) Die strahlende Kreislinie.....	174
δ) Die strahlende Fläche	185
ϵ) Die strahlende Kugelfläche	188
ζ) Die strahlende Zylinderfläche.....	190
b) Der strahlende Raum.....	191
α) Die homogen strahlende Kugel	192
β) Die Katheterbestrahlung	200
γ) Der strahlende Zylinder	202
2. Präparatekombinationen	204
a) Dosimetrie der Spickmethode.....	204
α) „Zylinderförmiger“ Herd	205
β) „Kugelförmige“ Herde	207
γ) Flächenförmige Herde	208
δ) Beispiele.....	210
b) Technik und Dosimetrie gynäkologischer Bestrahlungen	211
α) Cervixkanal.....	212
β) Die Vaginalbestrahlung	212
γ) Die Portioplatte	215
δ) Bestrahlung des Cavum uteri	216
ϵ) Bestrahlung gutartiger Blutungen	217
3. Bestrahlungseinheiten.....	218
a) Radiumeinheiten	218
b) Einheiten mit künstlichen Radioisotopen	219
c) Dosismessung an Bestrahlungseinheiten.....	222
d) Die Bewegungsbestrahlung	224
B. Interne Bestrahlungen	225
1. Allgemeines und Methoden.....	225
2. Prinzip der Dosisberechnung	226
a) Allgemeine Berechnung der β -Strahlendosis	227
b) Berechnung typischer Beispiele	231
α) Injektion von Radiophosphor	231
β) Radiojodtherapie der Schilddrüse	232
C. Direkte Messung der Strahlendosis	234
1. Grundsätzliche Bemerkungen	234
2. Praktische Meßgeräte.....	236
3. Strahlenchemische und andere Meßverfahren	241
4. Photographische Dosismessung	242
Literatur.....	247

Sechster Abschnitt

In der Praxis verwendete radioaktive Stoffe

	Seite
1. Natürliche Radioelemente	257
a) Radium	257
b) Radon	260
c) Mesothor, $M Th_1$	264
d) Thorium X, $Th X$	266
e) Radiothor, $R Th$; Thorium B, $Th B$; Polonium, Po	267
2. Künstliche radioaktive Stoffe	267
a) Reine β -Strahler	268
α) Radiophosphor, ^{32}P	268
β) Radiostrontium, ^{90}Sr	269
b) Gemischte Strahler	271
α) Radionatrium, ^{24}Na	271
β) Radiogold, ^{198}Au	271
γ) Radiojod, ^{131}J	272
c) Gemischte Strahler für externe Therapie	273
α) Radiokobalt, ^{60}Co	273
β) Radiocaesium, ^{137}Cs	276
γ) Radiochrom, ^{51}Cr und Radioiridium, ^{192}Ir	277
Literatur.....	277

Siebenter Abschnitt

Schutzprobleme und deren Behandlung

1. Basiswerte	282
2. Organisatorische und technische Maßnahmen	284
a) Organisatorische Maßnahmen	284
b) Technische Anforderungen	284
c) Strahlenschutzmessungen	288
3. Arbeitsdisziplin	289
4. Zwischenfälle	289
Literatur.....	290

Anhang

Wichtige Konstanten	293
Exponentialfunktion e^{-x}	294
Funktion $F(\varphi, \mu a) = \int_0^{\varphi} e^{-\frac{\mu a}{\cos \varphi}} d\varphi$	295
Exponentialintegral: $E_i(-x) = \int_x^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx$	296
Sachverzeichnis	297