ABHANDLUNGEN ÜBER DIE PATHOPHYSIOLOGIE DER REGULATIONEN

Herausgeber

H. Kleinsorge, Jena · H. W. Knipping, Köln · R. Wagner, München

Heft 1

RADIOISOTOPE IN DER HERZDIAGNOSTIK

Von

Dr. med. HANS LUDES und Dr. med. GERHARD LEHNERT

Medizinische Universitätsklinik Köln

Mit einem Geleitwort von

Professor Dr. med. Dr. h. c. H. W. KNIPPING

Mit 62 Abbildungen im Text

VEB GUSTAV FISCHER VERLAG · JENA

1958

ABHANDLUNGEN ÜBER DIE PATHOPHYSIOLOGIE DER REGULATIONEN

Herausgeber

H. Kleinsorge, Jena · H. W. Knipping, Köln · R. Wagner, München

Heft 1

RADIOISOTOPE IN DER HERZDIAGNOSTIK

Von

Dr. med. HANS LUDES und Dr. med. GERHARD LEHNERT

Medizinische Universitätsklinik Köln

Mit einem Geleitwort von

Professor Dr. med. Dr. h. c. H. W. KNIPPING

Mit 62 Abbildungen im Text

VEB GUSTAV FISCHER VERLAG · JENA

1958

ES 17. F. 2
Alle Rechte vorbehalten · Printed in Germany
Copyright 1958 by VEB Gustav Fischer Verlag, Jena
Lizenznummer 261 215/56/58
Gesamtherstellung Druckerei „Magnus Poser", Jena
Gesetzt aus Bodoni-Antiqua

Abhandlungen über die Pathophysiologie der Regulationen

Heft 1

RADIOISOTOPE IN DER HERZDIAGNOSTIK

W. v. Humboldt

Alles wissenschaftliche Arbeiten
ist nichts anderes, als immer
neuen Stoff in allgemeine
Gesetze zu bringen.

Einführung in die Schriftenreihe

Von der Morphologie hat sich unser medizinisches Denken immer mehr dem Funktionsgeschehen im Organismus zugewandt. Physiologie, Pathophysiologie und physiologische Chemie sind ebenso wie die Kliniken in ständig zunehmendem Maße bemüht, die den Krankheiten zugrunde liegenden regulativen Störungen aufzudecken und damit schließlich zu neuen diagnostischen und therapeutischen Erkenntnissen zu kommen. Die Herausgabe und Sammlung wesentlicher Ergebnisse dieser für alle Fachgebiete der Medizin so wichtigen Forschungsrichtung soll Anliegen der Schriftenreihe „Abhandlungen über die Pathophysiologie der Regulationen" sein. Dabei werden sich Herausgeber und Verlag bemühen, die geeigneten Beiträge in einwandfreier Form und möglichst schnell der interessierten Allgemeinheit zugänglich zu machen.

Die einschlägigen Probleme sind außerordentlich vielseitig und in ihrem Ausmaß kaum zu übersehen; die Thematik der einzelnen erscheinenden Monographien wird entsprechend sehr unterschiedlich, ja scheinbar zusammenhanglos sein. Jedoch in ihrer Gesamtheit dürften diese speziellen Forschungsergebnisse sicher dazu beitragen, immer umfassendere Gesetzmäßigkeiten der Regulationsabläufe und ihrer Störungen nachzuweisen und schließlich auch das Gemeinsame der so verschiedenartigen Funktionskreise aufzuzeigen. Die „Abhandlungen" mögen also späterhin nicht nur als Nachschlagewerk von Wert sein, sondern einen erschöpfenden Einblick in das komplizierte funktionelle Geschehen vermitteln, das uns mit jedem kranken Menschen täglich gegenübertritt und von dessen letzter Erkenntnis wir noch weit entfernt sind.

H. Kleinsorge H. W. Knipping R. Wagner

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

Geleitwort

Die Anwendung der Radioisotope hat die medizinische Grundlagenforschung in einem Umfange befruchtet, von dem sich der Außenstehende nur schwer eine rechte Vorstellung machen kann. Demgegenüber ist es mit der Anwendung in der klinischen und ärztlichen Praxis noch sehr still. Bekannt und durchgesetzt ist die Verbesserung der Schilddrüsendiagnostik mit Hilfe von radioaktivem Jod, wobei wir aber den Akzent ganz besonders auf das Thema Schilddrüsencarcinom legen möchten, denn viele diagnostische und therapeutische Aufgaben der Schilddrüsenklinik kann man auch ohne isotopes Jod lösen. In der übrigen Klinik zeichnen sich jedoch in der jüngsten Zeit zwei bedeutende Entwicklungslinien für die Isotopenanwendung ab. Es ist dies einmal die Krebsfrühdiagnose, besonders die des Bronchialcarcinoms. Konkrete und zukunftsträchtige Ansätze liegen schon vor, und man kann voraussagen, daß in einigen Jahren ein auch in der Routinepraxis wesentlicher Fortschritt der Frühdiagnose des Bronchialkrebses realisiert sein wird. Das andere, ebenso bedeutende Anwendungsgebiet ist die Herzklinik. Die präoperative Herzdiagnostik, die sehr wesentlich die glanzvolle junge Herzchirurgie trägt, stützt sich in einem großen Teil der Fälle auf die Angiokardiographie und die Herzkatheterdiagnostik, welche beide auf FORSSMANN zurückgehen. FORSSMANN selbst ist der Ansicht, daß man zu einer möglich großen Sparsamkeit in der Anwendung der Radioisotope kommen muß. Eine Isotopenangiocardiographie, die gewissermaßen eine konsequente Weiterentwicklung der FORSSMANNschen Grundkonzeption wäre, könnte dieses Ziel erreichen lassen. Im Prinzip ist dieses Problem in einer langjährigen Zusammenarbeit mit der Technischen Hochschule Aachen (Prof. Dr. FUCKS) und der Medizinischen Universitätsklinik Köln gelöst. Bis zur Routineanwendung wird es aber noch Jahre brauchen. Der große Vorteil wäre die entscheidende Minderung der mit der Angiocardiographie wegen der großen Kontrastmittelmengen verbundenen Risiken. Bei der Isotopenangiocardiographie brauchen nur kleinste Bruchteile eines Milligramms eingesetzt zu werden. Außerdem wird der ganze Vorgang für den Patienten viel weniger strapazierend, viel weniger unangenehm, ja praktisch unmerklich. Die heute schon vorliegenden Ergebnisse des genannten Teams geben uns die Hoffnung, daß auch die Strahlendosis der heutigen Angiocardiographie durch die

Isotopenangiocardiographie wesentlich reduziert werden kann. Bei der Isotopenthoracographie ist das schon gelungen. Man hat befürchtet, daß die Anwendung der Radioisotope in der Medizin die Strahlenbelastung des Menschen erhöht. Wenn wir diese Dinge jedoch richtig disponieren, wird sicherlich das Gegenteil eintreten: die Strahlenexposition wird man vermindern können.

Groß ist die Zahl anderer Anwendungsformen der Radioisotope in der Herzklinik, die zum Teil der praktischen Routineanwendung schon viel näher stehen und vor allem in der Herzforschung schon sehr wesentliche Resultate gebracht haben. Ich greife aus dieser Gruppe von Methoden hier nur den koronaren Ausflutungstest heraus, an dem die Verfasser des vorliegenden Buches entscheidenden Anteil haben. Auf diesem Sektor sehen wir vielleicht am klarsten die nahe Routineanwendung sich abzeichnen. Der Bedarf der Klinik an einer solchen Methode ist sehr dringlich; denn das einzige, bisher für die Bestimmung der Koronardurchblutung zur Verfügung stehende, zuverlässige Verfahren setzt nicht allein den Herzkatheter voraus, sondern es muß auch gelingen, die Spitze des Katheters in den Koronarvenensinus einzuführen, was nur in einem gewissen Prozentsatz der Fälle auch in den Händen der erfahrensten Herzkatheterkenner in der Welt der Fall ist. Wir danken zwar dieser Katheterkoronardiagnostik in unserer Klinik wertvollste Resultate. Es sei verwiesen auf unser Buch: Knipping, Bolt, Valentin und Venrath „Untersuchung und Beurteilung des Herzkranken", Ferd. Enke Verlag, Stuttgart 1955. Aber jede in der Welt mit dieser Methode engagierte Klinik ist sich klar darüber, daß man so nicht zu einer Routineanwendung kommen kann. Die Koronardiagnostik braucht aber ein zur Routineanwendung geeignetes Verfahren. Die ganze Klinik der Herzkranzgefäße ist in starker Bewegung. Erinnert sei an die Arbeiten von Gregg, Gofman, Nikkilä und auch an die Arbeiten von Schettler zur Atheromatose. Da man die Ergebnisse riesiger Tierversuchserien nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragen kann, ist die klinisch-empirische Durchprüfung von der größten Dringlichkeit geworden. Sie setzt aber eine funktionelle Koronarbeurteilung ohne Strapazierung des Kranken und ohne Risiken für ihn voraus. Mir scheint es, daß die Autoren dieser Monographie mit ihrem koronaren Isotopenausflutungstest auf dem richtigen Wege sind.

Selbstverständlich haben die beiden Verfasser auch alle anderen Formen der Isotopenanwendung in der tierexperimentellen und klinischen Herzdiagnostik sorgfältigst berücksichtigt. Weil noch vor wenigen Jahren die Beschaffung von Radioisotopen in Europa größte Schwierigkeiten machte, liegen viele Publikationen von Autoren vor, welche ganz offensichtlich nicht eigene Erfahrungen mit Isotopen haben. Deshalb möchte ich hier darauf hinweisen, daß die beiden Verfasser dieses Büchleins über 6 Jahre in der praktischen Isotopenarbeit stehen und daß der eine der beiden Autoren sorgfältigst auch die amerikanischen Isotopenforschungszentren besucht und praktisch erlebt hat. Aus dieser genauen persönlichen Kenntnis ist auch

die kurze Geschichte dieses neuen Wissenszweiges unter Berücksichtigung der maßgeblichen Pioniere in der Welt (PRINZMETAL, NYLIN, WASER, HUNZINGER, RAJEWSKY, VEALL und viele andere) sorgfältig gestaltet.

Bei der eminenten Bedeutung des Isotopengebietes für die Zukunft freut es mich sehr, daß der Verleger dem Thema der Herzdiagnostik einen so breiten Raum gegeben hat. Das vorliegende Buch ist die erste bisher erschienene Monographie dieser Art. Wegen der mannigfaltigen Ausstrahlungen in die Grenzgebiete hinein, wegen der ungewöhnlichen Eleganz der Technik, aber besonders eben wegen der großen Zukunftsträchtigkeit des behandelten Themas glaube ich, daß es einen breiten Leserkreis finden wird. Vor allem aber soll es der Forschung dienen.

H. W. KNIPPING

Vorwort

Manchem Leser mag es verfrüht erscheinen, schon heute eine Monographie über die Anwendung von Radioisotopen in der Herzdiagnostik vorzufinden, verfügen wir doch unter all den wertvollen Untersuchungen auf diesem Gebiet bisher noch über sehr wenige, die schon als sicherer Bestandteil unseres diagnostischen Handelns Eingang in den klinischen Alltag gefunden haben. Trotzdem erscheint es uns lohnend, dem an uns herangetragenen Wunsch zu entsprechen und über bisherige tierexperimentelle und klinische Anwendungen von Radioisotopen auf dem Sektor der Herzdiagnostik zu berichten. Wir hoffen, damit einerseits dem mit diesem Problem beschäftigten Leser eine seiner eigenen Arbeit vielleicht dienende Zusammenfassung des bisher Erreichten zu geben und andererseits allen anderen interessierten Lesern einen Überblick über die Entwicklung, den heutigen Stand und die Stoßrichtung dieses so jungen Zweiges der Medizin zu verschaffen und sie zum Überdenken der vielen aufgeworfenen Probleme anzuregen. Wir sind uns selbstverständlich bewußt, auf so kleinem Raum in keiner Weise etwas Erschöpfendes bringen zu können.

Die Herzdiagnostik hat in den vergangenen Jahren von der Chirurgie her sehr wesentliche Impulse erhalten, und es ist erstaunlich, wie schnell und gründlich sie sich der Lösung der von den Chirurgen gestellten Probleme mit Erfolg gewidmet hat. Mit Hilfe vieler neuen Methoden ist sie heute in der Lage, wertvolle quantitative Aussagen über Zustand sowie effektive und potentielle Leistung des Herzens zu machen. Leider bedeuten davon einige zum Teil noch unentbehrliche Verfahren teilweise eine nicht unerhebliche Belastung für den Kranken, so daß sie für eine Routinediagnostik wohl kaum geeignet sein dürften. Hier kann ein wesentlicher Fortschritt von der Anwendung der Radioisotope erwartet werden. Wegen ihrer einfachen und exakten Meßbarkeit bieten sie bei Fehlen jeglicher Strapazierung des Kranken eine diagnostische Möglichkeit, die zu entwickeln und zu nutzen Ziel der im folgenden beschriebenen Arbeiten war.

Die Anwendung der Radioisotope in der Herzdiagnostik beruht auf drei Phänomenen, denen der Verdünnung, des Transportes und der Ein- bzw. Ausflutung. Das erstere liegt den Arbeiten der beiden Kapitel zugrunde, die sich mit der Bestimmung von Blut- und Herzminutenvolumen aus der Verdünnung einer Isotopenlösung im Blut befassen. Die Untersuchungen über die Kreislaufzeiten leiten sich aus der Messung der Transportgeschwindigkeit eines radioaktiven Indikators im Gefäßsystem ab, während bei den koronardiagnostischen Verfahren die Einflutung

eines Isotops aus dem Kreislauf in den Herzmuskel bzw. seine Ausflutung zur Erfassung der lokalen Durchblutungsverhältnisse eine wesentliche Rolle spielen. Im letzten Kapitel über die kongenitalen Vitien, die aus klinischen Erwägungen gesondert abgehandelt wurden, beruhen die beschriebenen Untersuchungen sowohl auf dem Verdünnungs- als auch auf dem Transportphänomen. Der Grundsatz des „nil nocere" veranlaßte uns, unserer Abhandlung eine Einführung in das Problem der Strahlendosierung voranzustellen.

Es ist uns ein Bedürfnis, an dieser Stelle unserem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. med. Dr. h. c. H. W. Knipping, zu danken für die Möglichkeit, uns seit Jahren an seiner Klinik mit der diagnostischen Anwendung von Isotopen beschäftigen zu können, und für die große Hilfe und die wertvollen Anregungen, die wir von ihm für unsere eigenen Arbeiten erhielten. Ihm gebührt das Verdienst, in Erkenntnis der aussichtsreichen Zukunft der Radioisotope in der Medizin als erster nach dem Kriege in Deutschland ihre Anwendung in Forschung und Praxis in seiner Klinik betrieben zu haben. Seine Ratschläge waren uns auch für dieses kleine Buch eine wertvolle Hilfe.

Herrn Professor Dr. med. H. Kleinsorge und Herrn Professor Dr. med. R. Wagner sei unser aufrichtiger Dank dafür entgegengebracht, daß sie in zuvorkommender Weise unsere Monographie als erstes Heft der Schriftenreihe „Abhandlungen über die Pathophysiologie der Regulationen" herausbringen.

Für die einwandfreie technische Ausstattung fühlen wir uns dem Verleger dankbar verpflichtet.

Schließlich möchten wir die wertvolle Hilfe, die uns Frau Dr. med. M. Karstien bei der Durchsicht der umfangreichen Literatur und der Korrekturen leistete, dankbar erwähnen.

Köln, im Juni 1957

Hans Ludes
Gerhard Lehnert

Inhaltsverzeichnis

Einführung in die Schriftenreihe V

Geleitwort VII

Vorwort X

Dosimetrie und Strahlenschutz 1

Grundlagen 1

Dosimetrie 3

Strahlenschäden und Strahlenschutz 8

Blutvolumen 10

Etikettierungsmethoden 10

Diagnostische und prognostische Anwendungsmöglichkeiten 17

Herzminutenvolumen 30

Theoretische Grundlagen 31

Bestimmungsmethoden 35

Kreislaufzeiten 41

Radiokardiographie 44

Radiozirkulographie 50

Koronarkreislauf 61

Kollateralkreislauf 61

Postmortale Darstellung eines Infarkts 64

Fremdgasmethode zur Bestimmung der koronaren Durchblutung 66

Radiozirkulographische Untersuchungen 69

Clearance-Bestimmungen 72

Kalibermessungen 78

Kongenitale Vitien 80

Radiokardiographische Untersuchungen 80

Bestimmung des Blutvolumens 85

Bestimmung des Shuntvolumens 88

Die γ-Retina 90

Literaturverzeichnis 93

Register 101

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

Dosimetrie und Strahlenschutz

Grundlagen

Der stabile Zustand eines Atoms ist an die charakteristische Konfiguration seiner Kernbestandteile gebunden. Bei Störung dieser Konfiguration entsteht ein instabiler Zustand. Bei einer Restabilisierung der Bestandteile des Kerns wird Energie in Form von radioaktiver Strahlung frei. Die instabilen, radioaktiven Elemente stehen im periodischen System an der gleichen Stelle wie ihre stabilen Schwesterelemente und werden daher als radioaktive Isotope bezeichnet. Chemisch verhalten sie sich wie die jeweiligen stabilen Elemente, können im Gegensatz zu diesen aber — dank der beim Zerfall entstehenden Strahlung — in Konzentrationen gemessen werden, die mit den üblichen physikalischen und chemischen Methoden nicht mehr zu fassen sind.

Die Geschwindigkeit des radioaktiven Zerfalls wird durch die Halbwertszeit ausgedrückt, wobei diese derjenige Zeitraum ist, in welchem die Hälfte aller radioaktiven Atome zerfallen. Die Halbwertszeiten sind für jedes Radioelement charakteristisch und liegen zwischen Bruchteilen einer Sekunde und Millionen von Jahren.

Die Einheit der Radioaktivität ist das Curie (C). Nach internationaler Vereinbarung hat ein radioaktives Präparat die Aktivität von 1 C, wenn in ihm pro Sekunde $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Kernzerfälle stattfinden. Der tausendste Teil von 1 Curie wird als Millicurie (mC), der millionste Teil als 1 Mikrocurie (μC) bezeichnet. Damit enthält 1 C eines Isotops langer Halbwertszeit mehr Radioatome als ein solches kurzer Halbwertszeit.

Künstlich radioaktive Isotope emittieren β- oder γ-Strahlen oder beides (mit Ausnahme des Samarium-Isotops $^{152}_{62}$Sm, das unter Ausstrahlung von α-Teilchen zerfällt). Während es sich bei der β-Strahlung um eine Korpuskularstrahlung (Elektronen) handelt, stellt die γ-Emission eine energiereiche elektromagnetische Wellenstrahlung dar.

Eine wesentliche Eigenschaft energiereicher Strahlen ist ihre Fähigkeit, bei der Durchstrahlung von Materie deren Atome oder Moleküle zu ionisieren oder in einen „angeregten" Zustand zu versetzen. Als Maßeinheit der Strahlendosis wurde daher für die Röntgen- und γ-Strahlen das Röntgen (r) eingeführt. Es ist definiert als diejenige Menge an Röntgen- oder γ-Strahlung, welche in 1 ccm Luft bei einer Temperatur von 0 °C und 760 mm Hg Druck eine Elektrizitätsmenge von einer elektrostatischen Ladungseinheit (= $2{,}1 \cdot 10^9$ Ionenpaare/ccm Luft) freimacht. Diese für Röntgen- und γ-Strahlen festgelegte Maßeinheit kann unter gewissen Voraus-

setzungen auch auf andere ionisierende Strahlenarten angewandt werden. Da man die Ionisation im Gewebe nicht hinreichend genau bestimmen kann, wurde auf Vorschlag von PARKER die absorbierte Energie als Grundlage der Maßeinheit eingeführt. Diese als „rep" (roentgen equivalent physical) bezeichnete Dosis ist diejenige Menge einer ionisierenden Strahlenart, welche in 1 g Gewebe eine Energieabsorption von 83,8 erg hervorruft[1]). Die Verbindung zum „r" ist gegeben, wenn man berücksichtigt, daß 1 ccm Luft 0,001293 g wiegt, zur Erzeugung eines Ionenpaares im Mittel 32,5 eV notwendig sind und 1 MeV dem Betrag von $1{,}602 \cdot 10^{-6}$ erg entspricht.

In der biologischen Wirkung weisen die verschiedenen Strahlungsarten qualitativ keine Unterschiede auf. Nach der heute gültigen Anschauung ist für die biologische Strahlenwirkung in erster Linie die Ionisation von Atomen und Molekülen des Gewebes verantwortlich zu machen (LEA, TIMOFÉEFF-RESSOVSKY). Durch diese Ionisationen kann es zu reversiblen oder irreversiblen Änderungen in der molekularen Struktur oder sogar zu Lösungen intramolekularer Bindungen kommen. Quantitativ zeigen die einzelnen Strahlenarten jedoch in ihrer biologischen Wirkung deutliche Unterschiede, besonders auf Grund der verschiedenen räumlichen Verteilung der durch sie gebildeten Ionen oder durch die verschiedene Quantenenergie der Strahlung. Man hat daher zusätzlich noch eine biologische Maßeinheit der Strahlendosis eingeführt, die dieser Tatsache Rechnung trägt. Diese als „rem" (roentgen equivalent man) bezeichnete Dosis ist rein empirisch gewonnen und ist diejenige Strahlenmenge, deren biologische Wirkung der von 1 r einer harten Röntgenstrahlung äquivalent ist. Während für die bei den künstlich radioaktiven Isotopen fast ausschließlich vorkommenden Elektronen- und γ-Quanten-Strahlung 1 rep etwa gleich 1 rem ist, zeigen die von vielen natürlichen radioaktiven Elementen und den Transuranen ausgesandten α-Strahlen bei gleicher physikalischer Dosis einen etwa 20mal größeren biologischen Effekt.

Die im Laufe der Zeit gewonnenen Erfahrungen über Schädigungen durch ionisierende Strahlungen machten es notwendig, eine maximale Dosisleistung (Dosis pro Zeiteinheit) festzusetzen, durch die gesundheitliche Schäden vermieden werden können. Selbstverständlich ist es strenggenommen nicht möglich, eine so definierte „Toleranzdosis" anzugeben, da die Erfahrungen bestätigt haben, daß die Einwirkung ionisierender Strahlen auf lebende Materie immer schädigend ist, auch wenn die Strahlung in kleinsten Mengen auftrifft. Gerade deshalb erscheint es aber — besonders im Hinblick auf die Möglichkeit genetischer Schädigungen — zweckmäßig, eine Toleranzdosis festzulegen, welche den mutationsauslösenden Wirkungen der ionisierenden Strahlungen Rechnung trägt. Nach den „Londoner Empfehlungen" von 1950 und den „Kopenhagener Bestimmungen" von 1953 beträgt die Toleranzdosis für eine Ganzkörperbestrahlung 0,3 r pro Woche bzw. 0,05 r pro Tag.

---

1) Der Energieverlust pro Gramm Gewebe kann bei dessen verschiedener chemischer Zusammensetzung und bei verschiedenen Quantenenergien der Strahlung wesentlich größer sein als in Luft. Daher wurde nachträglich die Definition des rep geändert: 1 rep = diejenige Dosis irgendeiner ionisierenden Strahlung, bei der eine Energieabsorption von 93 erg in 1 g Gewebe erfolgt (entsprechend der Energieabsorption von 1 r Röntgenstrahlung in 1 g Gewebe).

Dosimetrie

Aus den physikalischen Daten, der Ausscheidungsgeschwindigkeit aus dem Organismus und den bevorzugten Speicherungsorten können die maximal zulässigen Mengen eines inkorporierten Radioisotops berechnet werden. Wegen der großen Bedeutung des Dosimetrieproblems soll im folgenden näher auf die Berechnung von β- und γ-Dosen eingegangen werden. Es sei aber hier schon ausdrücklich betont, daß stets die Strahlenexposition so niedrig wie möglich gehalten werden soll.

β-Strahler

Eine Abschätzung der aus der Inkorporation von β-Strahlern resultierenden Strahlendosis gestaltet sich relativ einfach, wenn man zunächst von einer Ausscheidung oder Anreicherung des Radioisotops in den einzelnen Organen absieht. Da nämlich im Gegensatz zu den γ-Strahlen die Elektronen im Gewebe nur eine sehr geringe Reichweite aufweisen (je MeV etwa 0,5 cm), wird die gesamte Energie im Körper absorbiert und damit biologisch voll wirksam. Den Wert der gesamten, also bis zum vollständigen Zerfall freiwerdenden Energie erhält man dadurch, daß man die Zahl der im Zeitraum des totalen Zerfalls emittierten Elektronen mit dem Maß ihrer Energie multipliziert. Da nun, wie schon oben erwähnt, zur Erzeugung eines Ionenpaares ein Energiebetrag von etwa 32,5 eV benötigt wird, kann aus der insgesamt abgestrahlten Energie die Zahl der im Gewebe freiwerdenden Ionen und damit die Dosis in rep errechnet werden.

Bei dieser Berechnung ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Elektronenstrahlung nicht monoenergetisch ist, sondern daß immer Elektronen emittiert werden, deren Energien zwischen $E_\beta = 0$ und einer für das betreffende Isotop charakteristischen Maximalenergie $E_{\beta max}$ variieren. Nach MARINELLI verwendet man daher zur Bestimmung der Strahlendosis eines Radioisotops dessen mittlere Elektronenenergie $\overline{E_\beta}$, welche etwa ein Drittel der Maximalenergie des betreffenden Isotops beträgt. Die an das Gewebe abgegebene Strahlendosis erhält man jetzt dadurch, daß man zunächst aus der Anfangsaktivität A_0 (Zahl der zerfallenen Kerne innerhalb der ersten Minute) und aus der Halbwertzeit HZ (in Minuten) die Zahl der zu Beginn vorhandenen radioaktiven Kerne (N_0) errechnet. Aus hier nicht näher zu erörternden Gründen ist nämlich

$$N_0 = A_0 \cdot \frac{HZ_{(min.)}}{0{,}693} \quad . \tag{1}$$

Aus der Menge der insgesamt vorhandenen radioaktiven Kerne, N_0, und der mittleren Elektronenenergie $\overline{E_\beta}$ ergibt sich die Gesamtenergie aller Kerne, ausgedrückt in MeV. Da 1 MeV dem Betrag von $1{,}602 \cdot 10^{-6}$ erg äquivalent ist und 1 rep 83,8 erg entspricht, beträgt die bei einer Isotopenkonzentration von 1 mC pro Kilogramm Gewebe beim totalen Zerfall des betreffenden Isotops freiwerdende Dosis (K_β)

$$K_\beta = 88 \cdot \overline{E_\beta} \cdot HZ_{(d)} \qquad \text{(rep)}, \tag{2}$$

wobei $\overline{E_\beta}$ die mittlere Elektronenenergie in MeV und HZ die Halbwertszeit in Tagen sind.

Bei einer Konzentration von c mC pro Kilogramm Gewebe ist folglich die nach dem totalen Zerfall an das Gewebe abgegebene Energie (D_β):

(3) $$D_\beta = 88 \cdot c \cdot \overline{E_\beta} \cdot HZ_{(d)} \quad \text{(rep)}.$$

Die in t Tagen entstehende Dosis [d_β (t)] ist proportional der in dieser Zeit zerfallenen Atome, nämlich

(4) $$d_\beta (t) = D_\beta (1 - e^{-0{,}693\ t/HZ\,(d)}) \quad \text{(rep)}.$$

[D_β ist dabei nach Gleichung (3) zu berechnen, e ist die Basis des natürlichen Logarithmus = 2,72.]

Die Formel resultiert aus dem allgemeinen Zerfallsgesetz, auf welches hier nicht näher eingegangen werden soll.

Mit Hilfe der Gleichung (4) läßt sich auch diejenige Konzentration des Isotops im Gewebe berechnen, welche gerade die Toleranzdosis liefert (Toleranzkonzentration). Es ist nämlich die innerhalb der ersten 24 Stunden nach der Inkorporation an das Gewebe abgegebene Strahlendosis [d_β (1)]:

(5) $$\begin{aligned} d_\beta (1) &= K_\beta \cdot c \cdot (1 - e^{-0{,}693/HZ\,(d)}) \\ &= K_\beta \cdot c \cdot f_d \quad \text{(rep)}, \end{aligned}$$

wobei $f_d = 1 - e^{-0{,}693/HZ_{(d)}}$ die Zerfallsrate des Isotops innerhalb von 24 Stunden ist.

Bezeichnet man die Toleranzkonzentration mit S_β und setzt für d_β (1) die Toleranzdosis von 0,05 rep/d an, dann ist nach Gleichung (5)

(6) $$S_\beta = \frac{0{,}05}{K_\beta \cdot f_d} \quad \text{(mC/kg)}.$$

γ-Strahler

Während die bei der Elektronenstrahlung freiwerdenden Dosiswerte leicht zu berechnen sind, ist eine Bestimmung der γ-Strahlendosis bedeutend schwieriger. Hier sind nämlich — auch bei stabiler und homogener Verteilung des γ-strahlenden Isotops — die an den verschiedenen Stellen des Körpers wirksam werdenden Dosen verschieden. Das ist darauf zurückzuführen, daß die γ-Strahlen infolge ihrer großen Durchdringungsfähigkeit auf Wegstrecken absorbiert werden, die gegenüber den Körperdimensionen nicht mehr vernachlässigt werden können. Darüber hinaus ist auch die Absorption stark abhängig von der Ordnungszahl derjenigen Elemente, welche die durchstrahlte Materie bilden.

Zweckmäßigerweise geht man bei der Berechnung der γ-Dosis zunächst von der Dosisleistung einer punktförmigen Strahlenquelle aus. Von MARINELLI wurde eine Dosisleistungskonstante J_γ vorgeschlagen, die durch die Dosisleistung einer punktförmigen, γ-strahlenden Aktivitätsquelle von 1 mC in r pro Stunde in 1 cm Luftabstand dargestellt wird. Die in Tabelle 1 zusammengestellten J_γ-Werte beziehen sich auf ungefilterte Strahlenquellen.

Mit Hilfe der MARINELLIschen Konstanten J_γ läßt sich die Größe der γ-Strahlendosis berechnen, die beim totalen Zerfall einer punktförmigen Aktivitätsquelle von 1 μC in 1 cm Luftabstand entsteht (K_γ):

(7) $$K_\gamma = 1{,}44 \cdot 10^{-3} \cdot HZ_{(h)} \cdot J_\gamma \quad \text{(r/}\mu\text{C in 1 cm Abstand)}.$$

Tabelle 1

Dosiskonstanten und Toleranzkonzentrationen der in der Herz- und Kreislaufdiagnostik vornehmlich verwendeten radioaktiven Isotope (nach MEYER-SCHÜTZMEISTER und RAJEWSKY)

Die Toleranzkonzentrationen S_β, S_γ und $S_{\beta,\gamma}$ geben diejenigen Aktivitätskonzentrationen in μC/kg Gewebe an, welche innerhalb der ersten 24 Stunden nach Inkorporation des Isotops eine β-, γ- oder Gesamtstrahlendosis von 0,05 rep liefern

Isotop	HZ	Zerfallsanteil je Tag f_d	Strahlenart	$\overline{E}_\beta$ (MeV)	K_β $\left(\frac{\text{rep} \cdot \text{g}}{\mu\text{C}}\right)$	S_β (μC/kg)	J_γ (r/mC · Std. in 1 cm Abstand)	K_γ (r · g/μC in 1 cm Abstand)	S_γ (μC/kg)	$S_{\beta,\gamma}$ (μC/kg)	$HZ_{eff.}$ (in Tagen)	Kritisches Organ
$^{24}_{11}$Na	14,8h	0,68	β^-	0,54	29,4	2,5	19,5	0,41	0,94	0,65	0,6	Gesamtkörper
$^{32}_{15}$P	14,1d	0,05	β^-	0,685	856,0	1,15				1,15	14,0	Knochen
$^{42}_{19}$K	12,4d	0,74	β^-, γ	1,4	63,9	1,05	2,0	0,036	13,08	0,95	0,5	Muskel
$^{45}_{20}$Ca	152d	0,0039	β^-	0,09	1200,0	10,5				10,5	151,0	Knochen
$^{51}_{24}$Cr	26,5d	0,025	K*, γ	0,0054	10,0	200,0	0,06	0,055	208,0	102,0	22,0	Niere
$^{55}_{26}$Fe	4a	$4{,}6 \cdot 10^{-4}$	K	0,0064	820,0	132,0	(7,2)	(363)		132,0	61,0	Blut
$^{59}_{26}$Fe	45,5d	0,015	β^-, γ	0,12	480,0	6,95	6,75	10,6	1,7	135,0	27,0	Blut
$^{131}_{53}$J	8d	0,083	β^-, γ	0,17	120,0	5,0	3,0	0,83	4,09	2,25	7,5	Schilddrüse

* K = K-Elektroneneinfang. Die eingeklammerten Werte beziehen sich auf die Ionisierungswirkung der durch K-Einfang entstandenen Röntgenstrahlung. Der Beitrag der K-Strahler zur Toleranzdosis ist jedoch beim Fehlen einer γ-Strahlung in S_β enthalten.

Beim totalen Zerfall eines homogen in einer Konzentration von c μC/g Gewebe im Körper verteilten Isotops beträgt die an das Gewebe abgegebene γ-Strahlung (D_γ):

(8) $$D_\gamma = c \cdot g \cdot K_\gamma \quad (r),$$

wobei g den sogenannten „Geometriefaktor", welcher vom Ort der Messung, dem linearen Absorptionskoeffizienten und der Gewebsdichte abhängig ist, darstellt. Er errechnet sich aus:

(9) $$g = \varrho \cdot \int_v \frac{e^{-\mu j} \cdot s}{s^2} \cdot dV,$$

wobei

s = Abstand des Volumenelements dV von dem Punkt, an dem die Dosis bestimmt werden soll,

ϱ = Dichte des Gewebes und

μ_j = linearer Absorptionskoeffizient sind.

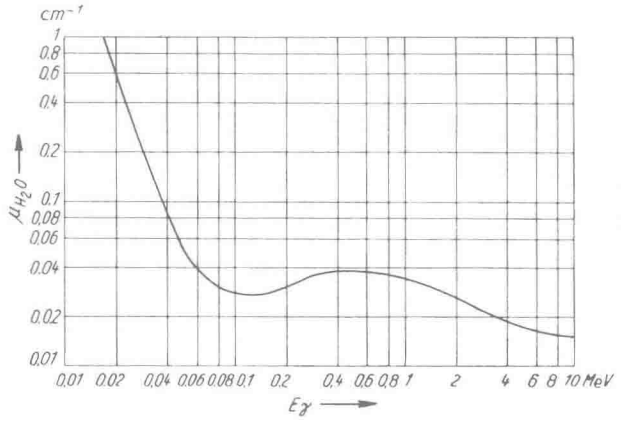

Abb. 1. Linearer Absorptionskoeffizient μ_j für γ-Strahlen in Wasser als Funktion der Quantenenergie. (Aus Hoppe-Seyler/Thierfelder.)

Der Geometriefaktor muß für jeden Punkt gesondert berechnet werden. Für überschlagsmäßige Berechnungen kann man als Modell für den Rumpf eines erwachsenen Menschen einen Zylinder von 60 cm Höhe und 40 cm Durchmesser annehmen. Wie aus Abb. 1 ersichtlich, ist der lineare Absorptionskoeffizient abhängig von der Quantenenergie der Strahlung. Da Wasser in seiner Dichte etwa dem weichen Gewebe entspricht, lassen sich aus diesem Diagramm die zur Berechnung notwendigen Werte ablesen.

Analog zu Gleichung (4) beträgt die in einem Zeitraum von t Tagen wirksam werdende Energie eines γ-Strahlers:

(10) $$d_\gamma\,(t) = D_\gamma\,(1 - e^{-0{,}693\,t/HZ\,(d)}) \quad (r),$$

die in den ersten 24 Stunden abgegebene Dosis [entsprechend Gleichung (5)]:

(11) $$d_\gamma\,(1) = c \cdot g \cdot K_\gamma \cdot f_d \quad (r)$$

und die Toleranzkonzentration wie bei Gleichung (6):

(12) $$S_\gamma = \frac{0{,}05}{K_\gamma \cdot g \cdot f_d} \quad (mC/kg).$$

Die in Tabelle 1 angegebenen Werte für S_γ beziehen sich auf das Körperzentrum, also auf den Ort der größten Dosisleistung, so daß auch hier an keiner Stelle des Organismus die Toleranzdosis von 0,05 r pro Tag überschritten wird.

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com