

国际辐射单位与测量委员会第 32 号报告

估算临床应用放射性核素吸收剂量的方法



中国计量出版社

估算临床应用放射性核素 吸收剂量的方法

国际辐射单位与测量委员会第32号报告

陈丽妹 译

张永兴 校

中国计量出版社

内 容 提 要

本报告 (ICRU) 为计算医学临床诊断和治疗用的放射性核素分布在体内时的吸收剂量推荐了一种简单、统一普遍适用的方法。给出了该方法的要点、基本概念和计算公式。以表格和曲线的形式发表了要用到的生物学数据, 医用放射性核素的特性, 以及能量范围很宽的点源和分布源, 不同周围物质散射条件下, 不同大小吸收区域的吸收数据。列举了许多例题, 以说明每一种类型的应用。用这种方法和最新数据可以直接解决医学应用放射性核素时所遇到的各种实际的剂量学问题。并且没有以前用过的许多方法所含的近似和某些限制。

本书可供广大临床应用放射性核素进行诊断和治疗的医务人员使用, 也是核医学、放射生物、放射免疫、辐射剂量学、辐射防护专业人员和大专院校师生的一本很有用的参考书。

**Methods of Assessment of Absorbed Dose
in Clinical Use of Radionuclides
ICRU REPORT 32
INTERNATIONAL COMMISSION ON
RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS
1979. 11**

**估算临床应用放射性核素吸收剂量的方法
国际辐射单位与测量委员会第32号报告**

陈丽姝 译 张永兴 校
责任编辑 陈艳春

—

中国计量出版社出版
(北京和平门11区7号)

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

—

开本 787 × 1092 1/32	印张 4 3/4
字数 101 千字	印数 1—3000
1986年11月第一版	1986年11月第一次印刷

统一书号 15210·668

定价 1.20 元

246/23

国际辐射单位与测量委员会

参与制订本报告的人员

制订本报告期间委员会的成员

H. O. Wyckoff	主席
A. Allisy	副主席
K. Liden	秘书
R. S. Caswell	
H. J. Dunster	
P. Edholm	
J. R. Greening	
D. Harder	
P. Harper	
A. Kellerer	
H. H. Rossi	
W. K. Sinclair	
A. Tsuya	
A. Wambersie	
L. S. Taylor	

名誉主席和荣誉成员

现任委员会成员

H. O. Wyckoff	主席
A. Allisy	副主席
G. E. Adams	
R. Caswell	

G. Cowper
P. Edholm
J. R. Greening
D. Harder
A. Kellerer
H. H. Rossi
W. K. Sinclair
J. Van Der Schoot
A. Wambersie
L. S. Taylor

名誉主席和荣誉成员

委员会中的发起人

P. V. Harper 美国依里诺斯州芝加哥
阿贡癌症研究医院
K. Lidén 瑞典隆德，隆德大学

报告委员会

N. G. Trott 主席
英国萨顿皇家马斯敦医院
G. W. Dolphin(已去逝) 英国哈威尔国家放射防护局
R. E. Ellis 英国利兹综合医院
R. Loevinger 美国华盛顿特区国家标准局
P. Tothill 英国爱丁堡皇家医院
N. Veall 英国哈若医学研究协会临床研
究中心
J. Vennart 英国哈威尔医学研究中心

执行秘书

W. Roger Ney

本委员会谨向在制订本报告期间将其时间和精力奉献给
本工作的成员致以谢意，并对各成员所在的组织表示感谢！

符 号 表

A	(放射性) 活度
A_0	施入的 (放射性) 活度
$\bar{A}(t)$	活度对时间的积分
$B_{0n}(\mu x)$	在距离 x 处、能量吸收积累因子
C	每单位质量的 (放射性) 活度
$\bar{C}$	每单位质量的 (放射性) 活度对时间的积分
D	吸收剂量
$\bar{D}$	平均吸收剂量
D_{eq}	平衡条件下的吸收剂量
$\dot{D}$	吸收剂量率
E_i	第 i 种类型的粒子的平均能量
F_m	根据衰变曲线外推到零时刻得到的所研究组织中的活度占施入活度的份额
$F(t)$	t 时刻所研究组织中的活度占施入活度的份额
g	几何因子
k	单位之间的换算系数
l	半衰期的个数
m	质量
n_i	母体核素每次核变化发出第 i 类粒子的平均数
p	点
q_j	对衰变校正到零时刻的第 j 种成分的 (放射性) 活度
r	区域
r_1	靶区域

r_s	源区域
s	用以表示求和的下角标 (见式 2.4-29 下面的说明)
$R_{0.9}$	水中 90% 吸收半径
t	时间
T	物理半衰期
T_{eff}	有效半衰期
$\bar{T}$	平均物理寿命
$\bar{T}_{eff}$	有效平均寿命
V	体积
x	距离
Z	原子序数
Δ_i	母体核素每次核变化发出第 i 类粒子的平均能量
Γ	照射量率常数
μ	衰减系数
λ	物理衰变常数
λ_j	第 j 种成分的生物学消失常数
μ_{en}	能量吸收系数
ρ	质量密度
γ	红细胞的生存期
ϕ	吸收份额
Φ	比吸收份额
$\Phi(x)$	距离 x 处、各向同性点源的比吸收份额

前 言

国际辐射单位与测量委员会的活动范围

国际辐射单位与测量委员会 (ICRU) 自 1925 年创立以来, 其主要任务一直是在下列几方面提出国际上可以接受的建议:

- (1) 辐射与放射性方面的量和单位,
- (2) 在临床放射学与放射生物学中、测量和应用这些量的适当方法,
- (3) 应用这些方法时, 为保证报道的一致性所需的物理学数据。

对辐射防护领域, 本委员会也研究并提出类似形式的建议。这方面的工作都是与国际放射防护委员会 (ICRP) 密切合作进行的。

方 针

国际辐射单位与测量委员会致力于搜集、评价与辐射测量和剂量学问题有关的最新数据和资料, 并推荐最能接受的数据和技术, 供当前使用的需要。

本委员会对其建议经常进行不断地复查, 以适应辐射应用的迅速发展。

国际辐射单位与测量委员会认为, 为研制和保存各级标准, 各国国家机构的职责是制订详细的技术程序。但本委员会竭力主张各国尽可能与国际上推荐的辐射量和单位的基本

概念保持一致。

本委员会认为她自己的职责在于建立一套应用范围最为广泛的量和单位。常常会发生这样的情况，即某一现存问题的权宜之解似属可予推荐。但是一般说来，本委员会认为从长远观点看权宜做法是不可取的，应力图将其决定建立在所期望的深远利益的基础之上。

国际辐射单位与测量委员会征求并欢迎对其建议与报告提出建设性评论和意见。这些评论和意见均可转达到本委员会主席。

目前的计划

本委员会将其工作范围分成了 12 个技术领域，并在各领域内指派一位或几位委员负责鉴别委员会新的活动中可能提出的课题。对每一个技术领域组成一个顾问团体，就该技术领域内是否需要提出本委员会的建议，以及对某一经过鉴别的需要提出针对性的方法向本委员会提出意见。每一领域由发起人和顾问进行周期性的复查。然后由本委员会对这些小组就新报告的建议进行审查并确定其次序。

现有的各技术领域是：

辐射治疗

辐射诊断

核医学

放射生物学

放射性

辐射物理——X 射线、 γ 射线和电子

辐射物理——中子和重粒子

辐射防护

辐射化学

因子值—— W 、 S 等

理论问题

量和单位

ICRU 的报告是由 ICRU 的各报告委员会具体负责制订的。由本委员会的一位或几位委员作为该报告委员会的发起人，并与本委员会保持密切联系。目前正在工作的报告委员会有：

C_x 和 C_R

计算机在辐射治疗方面的应用

带计算机的断层 X 射线照相法 (CT) 使用的定义和术语

报道腔内治疗和间质治疗的剂量规范

脉冲辐射剂量学

基本量和单位

高能电子束剂量学

人体低水平放射性测量

微剂量学

外部束治疗中的照相剂量学

扫描

阻止本领

国际辐射单位与测量委员会的报告

1962年，国际辐射单位与测量委员会过去每三年出一本报告书的内容太广，而且在某些情况下由于太专业化而难以一卷本出版，于是开始出版系列报告，每一期只限定几个课题。这种系列报告是从下列 6 篇报告发行开始的：

ICRU 报告 10a 辐射量和单位

ICRU 报告 10b 照射的物理学问题

- ICRU 报告 10c 放射性
ICRU 报告 10d 临床剂量学
ICRU 报告 10e 放射生物剂量学
ICRU 报告 10f 放射学设备与材料的评价方法

上述各报告如同本委员会过去的许多报告一样，都是由美国政府印刷局以美国标准局手册的方式出版的。

本委员会1967年决定，国际辐射单位与测量委员会的正式建议今后均由委员会自行出版。本报告就是按此方针由国际辐射单位与测量委员会出版的。除 ICRU 报告10a、10d和10e 外，“10”号系列中的其他报告仍继续有效。同时，由于并未专门拟订替代它们的新报告，在其内容基本上不能适用以前，这些报告仍将保持其有效性。今后，国际辐射单位与测量委员会的一切报告均由本委员会自行出版。目前可以得到的 ICRU 报告，其情况请参见本书的第 136 页。

国际辐射单位与测量委员会 和其他组织的关系

国际辐射单位与测量委员会除与国际放射防护委员会有密切的关系以外，还与其他一些对辐射量、单位以及测量有兴趣的组织建立了联系。从1955年起，ICRU 已与世界卫生组织（WHO）有了正式关系，从而在辐射单位与测量方面成为对世界卫生组织的最主要指导，而世界卫生组织也在世界范围内协助传播本委员会的建议。1960年国际辐射单位与测量委员会取得了国际原子能机构的咨询地位。本委员会与联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）有了正式的关系。联合国原子辐射效应科学委员会邀请本委员会的代表作为观察员参加会议。本委员会还和国际标准化组织（ISO）非正式地交换会议情报，并与国际标准化组织的两个技术委

员会有正式联系。本委员会还与下列组织交换正式报告和互通情报：

国际计量局

欧洲共同体委员会

国际医学科学组织理事会

粮食及农业组织

国际科学协会理事会

国际电工委员会

国际劳工局

国际放射防护协会

国际纯物理与应用物理学协会

联合国教科文组织

本委员会业已体验到与上述各组织的关系是有成效的，而本委员会的计划也受到了极为重要的益处。与这些国际团体的关系并不影响本委员会与国际放射学学会的根本性的亲密关系。

业 务 经 费

本委员会成立后的早期，主要是在志愿的基础上进行工作的，其差旅费和业务支出由各成员所在组织提供（最初只有国际放射学学会提供资助）。鉴于难以维持这种建立在没有固定资助基础上的工作方式，于是就从各种不同的方面去寻找业务经费的来源。

本委员会从下列组织得到了财务上的支持：

英美烟草公司制烟厂

欧洲共同体委员会

国际医学科学组织理事会

杜邦戴纳摩尔公司

福特基金会

通用电气公司

国际原子能机构

国际辐射防护协会

国际放射学学会

日本辐射器械工业协会

约翰奥克奥古斯塔慈善会

美国卫生、教育、福利部国立癌症研究所

飞利浦灯泡制造厂

皮克公司

北美放射学学会

洛克菲勒基金会

西门子公司

核医学学会

丹麦国家医学研究院

美国食品与药物放射卫生管理局

鉴于支援本委员会的上述组织提供了慷慨的援助，使本委员会的工作得以进行，在此深表谢意。

国际辐射单位与测量委员会 主席

Harold O. Wyckoff

美国华盛顿特区

1979年3月1日

目 录

1. 引言	(1)
1.1 出版本建议书的必要性	(1)
1.2 本报告的结构	(2)
1.3 公式和物理学数据	(3)
1.4 在本报告适用范围内的局限性	(4)
1.5 关于本报告的应用	(5)
2. 物理概念和基本公式	(6)
2.1 引言	(6)
2.2 基本概念	(7)
2.3 所用的假设和符号	(9)
2.4 计算公式	(12)
2.4.1 平衡条件下的吸收剂量	(12)
2.4.2 吸收份额和比吸收份额	(12)
2.4.3 倒易原理	(15)
2.4.4 吸收剂量方程	(16)
2.4.5 由吸收剂量方程转换到吸收剂量率方程	(17)
2.4.6 源放射性活度随时间的变化	(17)
2.4.7 单位的转换	(19)
2.4.8 贯穿辐射和非贯穿辐射	(20)
2.4.9 密度换算定则	(23)
2.5 本报告推荐的计算吸收剂量的方法与早先所用方法的关系	(25)
3. 剂量学中用到的生物学资料	(31)
3.1 施入放射性药物后放射性在体内的分布	(32)
3.1.1 对动物进行的观测	(32)

3.1.2 稳定元素或化合物在人体内的分布	(35)
3.1.3 在人体上研究	(35)
3.2 器官和组织	(50)
3.2.1 关于器官的质量、尺寸、成分等方面的资料及其在人体内的空间分布	(50)
3.2.2 患病时组织的质量	(51)
3.3 关于结果的报道	(51)
3.4 生物学数据的来源	(52)
4. 关于估算吸收剂量时所用程序的汇总	(53)
4.1 假设	(53)
4.2 数据的来源	(53)
4.2.1 母体元素每次核转化发出第 i 种类型辐射平均能量 Δ_i	(53)
4.2.2 吸收份额, ϕ	(53)
4.2.3 活度对时间的积分, $\bar{A}$	(54)
4.2.4 靶器官的质量, m	(54)
4.3 其他一些参数	(54)
4.4 例题	(55)
5. 问题和建议	(57)
5.1 数据的简化	(57)
5.2 列表的方法	(57)
5.3 关于估算吸收剂量的报道	(57)
5.4 关于生物学数据的准确度	(58)
5.5 关于人体生物学数据的获取	(58)
附录 A 放射性核素物理学资料的基本数据	(59)
附录 B 光子的吸收份额和比吸收份额	(79)
附录 C 计算吸收剂量的例题	(95)
附录 D 俄歇电子和其它低能辐射的剂量学问题	(114)
附录 E 生物学数据的来源	(126)
参考文献	(129)

1. 引言

本报告关心的是放射性药物注入人体后组织所受吸收剂量的计算方法,即使要研究的主要目的只在人体的一个部位,或者只在一个部位施用放射性药物,一般来说体内的许多组织也都会受到照射。

在诊断工作中,为了推断每种诊断方法可能产生的危害,在不同的方法之间进行挑选,以及尽可能地把辐射带来的危害与该项研究可能产生的效益进行比较等都需要对使用不同方法时授予特定器官和组织的吸收剂量进行确定。本报告介绍的方法,在目前来说可能最适合于这一目的。这种方法同样也可以用来估算治疗时施加的吸收剂量,但是在目前的技术水平条件下,解释所得结果时必须慎重:因为使用放射性核素的治疗技术往往是凭经验得来的,只是根据提供的剂量的近似估算值作为依据的。

1.1 出版本建议书的必要性

在此以前,国际辐射单位与测量委员会(ICRU)的一系列报告中详细列出了X和 γ 射线、中子和电子束的剂量学方面的问题,但是没有系统地介绍用于医学目的那些放射性核素的剂量学问题。因此,现在出版一本关于这一课题的内容广泛的报告和建议书看来是必要和适时的。下面仅就决定编写这份报告以及本报告最终采取什么形式等有影响的一些因素作一简要综述:

(1) 产生图像的方法: 在日常的医学诊断中,广泛地

使用着放射性药物，并且俱增多。某些方法，特别是在利用各种不同的设备对放射性分布产生图像时，需要在患者必须保持不动的相当短暂的时间内累积尽可能多的资料；在这些处理措施当中，凡是成功的诊断都与临床上认为可以接受的那种放射性活度水平有关，因而也与那些能够满意地用来计算由这些处理措施所造成的吸收剂量的方法的有效性有关。

(2) 放射性核素的类型：诊断上用的放射性核素，大多数都是通过电子捕获或者由亚稳态发生同质异能跃迁进行衰变的，放出的 X 辐射和 γ 辐射的能量通常在 5—500keV 之间。直到几年以前才对计算这些放射性核素产生的吸收剂量用的一些最合适方法作了很不详细地研究。如果不考虑 X 射线、俄歇电子和内转换电子的贡献，吸收剂量的估算值就会大为偏低。

(3) 生物学数据和临床测量：如果能够查到有关所用的特定放射性药物的代谢数据，才能作出吸收剂量的一些必要计算。获得这类数据的方法，不论是根据对人体的测量，或者是通过别的什么途径，在辐射测量中都存在着许多困难问题。因此需要有关于表达这种数据方式的建议，和提供那些应该搞到的证据资料方面的建议。

(4) 计算吸收剂量的方法：有了确定放射性核素在体内分布方式所必需的生物学数据之后，计算吸收剂量的方法有好几种。然而，多年来一直在为谋求这些方法的统一而做了许多努力。现在有相当多的文章报道的都是基于某个特定的系统，它用起来简便而灵活，这种统一的系统给本报告提供了基础。

1.2 本 报 告 的 结 构

首先，在本报告的第 2 节中给出了一些基本概念和公