

中国参考人

王继先 陈如松 等编著

解剖生理和代谢数据

Data of Anatomical Physiological and Metabolic
Characteristics for Chinese Reference Man



-62

图书馆

原子能出版社

DF.13/08
中国参考人解剖生理和代谢数据

Data of Anatomical Physiological and Metabolic
Characteristics for Chinese Reference Man

王继先 陈如松
等编著
诸洪达 周永增 马如维



R322-62
WJX

原子能出版社

Atomic Energy Press



A1C01206680

图书在版编目(CIP)数据

中国参考人解剖生理和代谢数据/王继先等编著. —北京:原子能出版社,1998.12

ISBN 7-5022-1878-5

I. 中… II. 王… III. ①参考人-人体解剖-数据-中国 ②参考人-生理-数据-中国 ③参考人-代谢-数据-中国 IV. R322

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 21472 号

内 容 简 介

本书是我国第一部较为系统和完整地给出中国人口(男、女)各年龄段(新生儿、婴儿、幼儿、儿童、少年和成年人)的中国参考人(原称中国标准人)解剖、生理和代谢参数专著。书中各章撰稿人均为该领域的著名专家。其中多数人参加了自1988年开始的由国际原子能机构(IAEA)组织的“亚洲参考人”合作研究项目,对“中国参考人”进行了长期系统而深入的调查研究。本书就是这些研究成果的总结。它既是一部具有理论意义的学术专著,又是一部有广泛实用价值的数据库手册。

书中主要内容包括:参考人的定义、用途和意义;体格测量参数、解剖参数;生理参数;膳食组成,主要食物日消费量和营养素、元素、放射性核素的日摄入量;器官和组织的元素含量和某些放射性核素的代谢资料,并与国外相应资料进行了比较与论述。书末备有附录。其中介绍了亚洲参考人和 Tanaka 模型。

本书可供辐射防护、放射医学、核医学界从事科研、防护、临床和教学工作者及有关大专院校师生学习参考。对其他医药、卫生、保健、劳动、体育、建筑、饮食、服装、外贸等行业和从事军用与民用产品的研究和设计人员也有重要参考价值。

Brief Introduction

This book is the first systematic and comprehensive monograph on Chinese Reference Man, male and female for various age (newborn, 1 year, 5 years, 10 years, 15 years and adults). It contents all parameters of anatomical, physiological and metabolic characteristics for a Chinese Reference Man. Each chapter of the monograph was written by famous specialists in the field. Most of the authors joined the co-ordinated research programme on “Reference Asian Man” organized by the International Atomic Energy Agency (IAEA) since 1988 and carried out a lot of investigation work for setting of Chinese Reference Man. This book is a summary for their study achievements. It is an academic monograph with deeply theoretical significance as well as a data handbook with widely applicative valuation.

The main contents include: definition, application and significance of reference man; anthropomorphic measurements, anatomical parameters; physiological parameters; dietary composition, food consumption, dietary intakes of nutrient, element and radionuclide; elemental content in organs and tissues and systemic metabolism data of some elements and comparison with relevant foreign data. The last is a appendix for Reference Asian Man study and the Tanaka Model.

This book could be used as handbook, guidance and reference for the scientists, physicians, technicians, teachers and students working in the fields of radiological protection, radiation medicine and nuclear medicine and also useful for researcher and designer engaging in the fields of medicine, hygiene, health care, labor, physical culture, construction, diet, dress, foreign trade and any products for military and civil.

© 原子能出版社,1998

原子能出版社出版 发行

责任编辑:武玉妹 李 镁

社址:北京市海淀区阜成路43号 邮政编码:100037

原子能出版社印刷厂印刷 新华书店经销

开本:787×1092mm 1/16 印张 16.62 字数 413.4 千字

1998年12月北京第1版 1998年12月北京第1次印刷

印数:1—1000

定价:34.00 元

《中国参考人解剖生理和代谢数据》

作者名单

(按姓名笔画排列)

- | 作者 | 单 位 |
|------|--|
| 马如维 | (Ma Ruwei) 中国辐射防护研究院保健物理研究所, 太原 030006
(China Institute for Radiation Protection, Taiyuan 030006), 研究员 |
| 王兆兰 | (Wang Zhaolan) 山西省劳动卫生与职业病研究所, 太原 030002
(Shanxi Institute of Industrial Hygiene and Occupational Diseases, Taiyuan 030002), 副研究员 |
| 王继先 | (Wang Jixian) 中国医学科学院中国协和医科大学放射医学研究所, 天津 300192
(Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Tianjin 300192), 研究员 |
| 尹协瑜 | (Yin Xieyu) 中国辐射防护研究院辐射测量和分析研究所, 太原 030006
(China Institute for Radiation Protection, Taiyuan 030006), 副研究员 |
| 刘洪涛 | (Liu Hongtao) 军事医学科学院卫生学环境医学研究所, 天津 300050
(Institute of Hygiene and Environmental Medicine, Academy of Military Medical Sciences, Tianjin 300050), 副研究员 |
| 杨晓昊 | (Yang Xiaohao) 军事医学科学院卫生学环境医学研究所, 天津 300050
(Institute of Hygiene and Environmental Medicine, Academy of Military Medical Sciences, Tianjin 300050), 助理研究员 |
| 杨崇礼 | (Yang Chongli) 中国医学科学院中国协和医科大学血液学研究所血液病医院, 天津 300020
(Institute of Hematology & Blood Diseases Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Tianjin 300020), 研究员 |
| 李本孝 | (Li Benxiao) 中国医学科学院中国协和医科大学放射医学研究所, 天津 300192
(Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Tianjin 300192), 副研究员 |
| 张桂华 | (Zhang Guihua) 中国医学科学院中国协和医科大学放射医学研究所, 天津 300192
(Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Tianjin 300192), 副研究员 |
| 陆 梅 | (Lu Mei) 中国医学科学院中国协和医科大学放射医学研究所, 天津 300192 |

(Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Tianjin 300192), 研究生

陈如松 (Chen Rusong) 中国辐射防护研究院生命科学研究所, 太原 030006
(China Institute for Radiation Protection, Taiyuan 030006), 研究员

陈辉树 (Chen Huishu) 中国医学科学院中国协和医科大学血液学研究所血液病医院, 天津 300020
(Institute of Hematology&Blood Diseases Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences&Peking Union Medical College, Tianjin 300020), 研究员

周永增 (Zhou Yongzeng) 中国辐射防护研究院生命科学研究所, 太原 030006
(China Institute for Radiation Protection, Taiyuan 030006), 研究员

郑以州 (Zheng Yizhou) 中国医学科学院中国协和医科大学血液学研究所血液病医院, 天津 300020
(Institute of Hematology&Blood Diseases Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences&Peking Union Medical College, Tianjin 300020), 主治医师

夏晓彬 (Xia Xiaobin) 中国辐射防护研究院保健物理研究所, 太原 030006
(China Institute for Radiation Protection, Taiyuan 030006), 助理研究员

诸洪达 (Zhu Hongda) 中国医学科学院中国协和医科大学放射医学研究所, 天津 300192
(Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Tianjin 300192), 研究员

窦兰君 (Dou Lanjun) 军事医学科学院卫生学环境医学研究所, 天津 300050
(Institute of Hygiene and Environmental Medicine, Academy of Military Medical Sciences, Tianjin 300050), 高级实验师

序

《中国参考人解剖生理和代谢数据》一书的出版是放射医学、放射卫生、辐射防护和核医学界的一件值得高兴的事。70年代我国只有少数的研究报道,而现在发表的著作是系统的研究结果;既具有中国的特色,又在总体上与国际接轨。这说明随着国民经济和科学技术的发展,我国对基础数据需要的迫切性和重要性愈来愈显示出来。这本书不只对上述的专业,且对其他医药、卫生、保健以及劳动、体育、建筑、饮食、服装和外贸等行业都有参考价值。

核能的发展和应用涉及到安全、防护与卫生。它们都需要定量的判断电离辐射对健康的影响,亦即判断电离辐射剂量与健康效应的关系。因此,确定人体所接受的电离辐射剂量是必不可少的。在确定人群所接受的电离辐射剂量时(特别是内照射情况下)除了要有电离辐射的计量数据外,还要有某一特定人群的解剖、生理和代谢等参数,才能估算剂量。本书所说的参考人(Reference man)就是指“某一特定人群的解剖、生理和代谢等参数的调查统计值,经科学分析及综合后形成的描述该人群的形态特性、组织特性,生理和代谢特性等的数据库。参考人典型化了某一特定人群,并用于代表该人群”。

早在50年代,国际放射防护委员会(ICRP)即基于内照射剂量标准的需要提出标准人(Standard man)的概念并用于计算和制定辐射防护中的几个涉及放射性核素的量(体内负荷量、最大容许摄入量、空气和水中的最大容许浓度)。70年代以来它改用“参考人”来代替“标准人”。80年代开始又着手修订和补充资料和数据,特别是职业性人员以外人群的数据。同时认识到增添亚洲人的数据的必要性。

增添亚洲人的数据并建立“亚洲参考人”是基于实际的需要。过去ICRP所建立的“标准人”和“参考人”都是以西欧和北美的调查材料(代表白种人)为依据的。近年来亚洲的核能利用得到了很大的发展,亚洲同样需要适合本地区的安全防护和卫生标准,同时也要考虑到当发生大型核事故时,全球都可能受到放射性污染。欧美人和亚洲人在“参考人”方面的差别主要在于人种、生活环境和饮食习惯方面的不同。这些都导致核素的摄入量差异、核素在体内代谢方面的差异,从而增加了剂量估算的不确定度。1995年2月国际原子能机构(IAEA)在日本召开的亚洲参考人项目第二阶段立题会议上启动了题为“辐射防护中重要的微量元素摄入量和器官含量”的研究,说明亚洲参考人的研究正在有针对性地取得进展。本书的出版一定会使更多的有关专业人员对“参考人”和“亚洲参考人”有更全面、深入的了解,从而使他们可以利用这个数据库为专业的发展服务。该书内容是著者们经过大量的调查、测试和抽样分析而获得的系统的中国参考人参数,是重要的资料,有较高的学术水平和应用价值。

魏纘新

1998. 8

前 言

参考人(Reference man)或标准人(Standard man),是指某一特定人群的解剖、生理和代谢等参数的调查统计值经科学分析及综合后形成描述该人群的形态特性、组织特性、生理和代谢特性等的数据库。参考人典型化了某一特定人群,并用于代表该人群,以便于对人群中的不同个体能在同一生物学基础上统一对待,及在不同群体间能用统一的标准进行比较,使许多工作变得简便、快捷和规范。因而参考人在辐射防护、放射医学、核医学及其他医药、卫生、保健、劳动、体育等领域和所有军用和民用产品的科研、设计中,都有着广泛的用途。

在辐射防护领域中,辐射防护导则和基本标准的建立,次级标准如放射性核素的年摄入量限值(ALI)、空气导出浓度(ADC)的导出,需要参考人参数作依据。在辐射防护实践中,内照射剂量估算模式的建立,体模的研制,剂量转换系数的确定,在核事故和核战争应急情况下,干预水平的确定和适当防护行动的采取,如食物的管制等都需要参考人的解剖、生理和代谢等参数。本书主要是应辐射防护的需要而编写的,适用于群体的防护,对于个体特别是当需要精确的剂量估算时,应尽量使用该个体的实测资料。

我国自20世纪50年代中开始建立了自己的核工业系统,并相继有了核武器和核电站。虽然辐射防护为促进我国核工业的发展取得了公认的业绩,但至今在我国的辐射防护实践中仍然使用着国际放射防护委员会(ICRP)1975年针对核设施和核企业工作人员,以西欧和北美白种人的调查资料为基础而推荐的参考人。而中国人在种族、地理环境、饮食习惯、体格、体质等方面与西欧、北美白种人都有着明显不同。再者核电已构成人类能源的重要组成部分,放射性核素和电离辐射源在工、农、医和国民经济各领域中广泛应用,对核辐射的防护已不再局限于核设施和核企业的场所,也不再是发达国家所独有,特别是在核事故情况下,环境放射性污染所造成的危害将是全民性的,甚至是全球性的,如前苏联切尔诺贝利核电站事故那样。如今辐射防护的重点已由核设施转向人类生存的环境;保护对象也不再限于放射工作人员还包括广大公众。ICRP第23号出版物中的“参考人”已不能满足当前辐射防护的需要。考虑到亚洲人口占世界人口的50%以上,亚洲经济发展迅速,核能放射性核素和辐射源的应用迅速发展,为加强亚太地区辐射防护的基础结构建设,国际原子能机构(IAEA)自1988年起组织了“编辑亚洲参考人解剖、生理和代谢参数”的合作研究项目。受国家卫生部和核工业部委托,中国医学科学院放射医学研究所和中国辐射防护研究院协作在中国组织实施“亚洲参考人”项目,同时开展了“中国参考人”的研究。经过五年的工作,“亚洲参考人”项目总结会于1993年在天津召开。会上我们的报告——“中国参考人研究”引起国内外专家和与会新闻媒体的关注。除电台和报界采

访和报道外,各界的专家学者也纷纷来函来访索取所需资料。这反映了社会对“中国参考人”的关心与需求。作者根据协作组近10年来的工作积累编写了这本书。

本书共有12章和1个附录。第一章为概论,描述参考人的定义、用途和意义、历史、现状和发展方向;第二章是中国人的体格测量参数,包括身高、体重、坐高、头围、胸围等十几项身体的外在形体测量参数;第三、四、五、六章为解剖学参数,包括主要器官的重量、位置和大小及骨骼、造血、血液和淋巴组织的重量、结构与组成。第七、八章是中国人的膳食组成、主要食物消费量,营养素、元素、放射性核素的摄入量和胃肠道模型;第九章水平衡;第十章为肺功能和肺模型;第十一章是中国人主要器官和组织的元素含量,特别是那些具有重要生理功能的少量和微量元素的含量;第十二章为某些放射性核素的代谢资料,该章汇集了我国历年来事故情况下,一些重要的放射性核素摄入后在人体内的代谢资料。最后是附录,简介亚洲参考人合作研究的主要成果和根据亚洲参考人资料而推荐的 Tanaka 模型,以充实本书的内容。

在写作中我们愈加认识到建立中国参考人工作的意义,也感到现有资料的不足和我们力量的单薄。为此,一方面我们应社会急需本着求实的原则尽可能使用好现有的资料,对一些调查资料丰富而系统的参数,推荐参考值;对一些调查资料虽丰富但不够系统者,提供统计值;对那些调查资料较少的参数,只列出调查值。还有些参数至今尚无可信调查资料,则只好借助于相近亚洲国家的资料或根据亚洲国家资料而推荐的 Tanaka 模型给出有关数据。另一方面我们将继续收集和积累资料,力争能尽快充实、提高和完善,建立一个更具代表性的系统而完整的“中国参考人”,以适应各行各业的需要。这将是一项涉及医药卫生各专业的艰巨而繁重的工作,诚挚地欢迎有关专家和学者加入到我们的行列,为完成这一工作共同奋斗。

由于作者水平有限,加之时间仓促,不妥之处在所难免,诚恳地欢迎同道们批评指正。

本书引用了“参考人协作组”近10年来的工作成果。在此对协作组的全体同志表示衷心感谢。魏履新研究员在百忙中为本书作了序;白光研究员评阅了书中部分章节,并提出了很好的建议;徐钧同志打印了本书稿,在此一并致谢。

王继先 陈如松

1998. 6

目 录

序	
前言	
第一章 概论	
一、“参考人”的定义、用途和意义	
二、“参考人”的内容	
三、“参考人”研究的历史和现状	
四、“参考人”研究的发展趋势	
参考文献	
第二章 中国人的体格测量参数参考值	
一、身高与体重	
二、坐高、头围和胸围	
三、其他体格测量参数	
四、体表面积	
五、体脂和瘦体重	
参考文献	
第三章 中国人主要器官重量参考值	
一、资料来源	
二、中国人主要器官的重量	
三、中国人器官重量参考值	
四、中国人器官重量参考值与日本参考人和ICRP参考人器官重量的比较	
参考文献	
第四章 中国人主要器官的位置和大小	
一、甲状腺	
二、肝脏	

CONTENTS

PREFACE	魏履新
FOREWORD	王继先 陈如松
CHAPTER I. INTRODUCTION	(1)
1. Definition, Application and Significance of Reference Man	(1)
2. Contents of Reference Man	(2)
3. Historical and Current Situation for Research of Reference Man	(2)
4. Prospect of Reference Man Study	(5)
References	(5)
CHAPTER II. REFERENCE VALUES OF PHYSICAL MEASUREMENT PARAMETERS FOR CHINESE	(7)
1. Total Body Height and Weight	(7)
2. Setting Height, Head Circumference and Chest Girth	(16)
3. Other Physical Measurement Parameters	(17)
4. Surface Area of the Total Body	(18)
5. Body Fat and Lean Body Mass	(18)
References	(19)
CHAPTER III. ORGAN MASS REFERENCE VALUES OF CHINESE...	(21)
1. Sources of Data	(21)
2. Mass of Main Organs of Chinese	(22)
3. Reference Values of Mass of Organs for Chinese	(22)
4. Comparison of Reference Mass of Organs for Chinese with Those of Japanese Reference Man and ICRP Reference Man	(27)
References	(28)
CHAPTER IV. POSITIONS AND DIMENSIONS OF ORGANS FOR CHINESE	(29)
1. Thyroid Gland	(29)
2. Liver	(32)

- 三、胆囊
- 四、脾脏
- 五、胰腺
- 六、肾脏
- 七、肾上腺
- 八、子宫
- 九、卵巢
- 十、前列腺
- 十一、睾丸
- 参考文献

第五章 成年人骨骼重量及其有关参数

- 一、引言
- 二、骨骼的解剖结构
- 三、我国成年人的骨骼重量参数
- 四、与国外相应资料的比较

五、辐射防护中的骨剂量模型

参考文献

第六章 造血、血液和淋巴系统

- 一、造血组织
- 二、淋巴系统
- 三、血液、红细胞、白细胞、血小板及血浆
总体水平

参考文献

第七章 膳食组成和食品消费量

- 一、研究方法
- 二、中国参考人的膳食组成和食品消费量
- 三、我国膳食组成的性别年龄组差异
- 四、影响膳食组成的其他因素

- 3. Gall bladder (34)
- 4. Spleen (35)
- 5. Pancreas (36)
- 6. Kidneys (37)
- 7. Adrenals (40)
- 8. Uterus (41)
- 9. Ovaries (42)
- 10. Prostate (43)
- 11. Testis (44)
- References (46)

CHAPTER V. SKELETON MASS AND ITS RELEVANT PARAMETERS FOR CHINESE ADULTS (48)

- 1. Foreword (48)
- 2. The Autopsy Structure of Skeleton ... (48)
- 3. Skeleton Mass of Chinese Adults (52)
- 4. Comparison with Relevant Foreign Data (58)

- 5. The Bone Dose Model in Radiological Protection (61)
- References (61)

CHAPTER VI. HEMATOPOIETIC SYSTEM, BLOOD AND LYMPHATIC SYSTEM (65)

- 1. Hematopoietic System (65)
- 2. Lymphatic System (71)
- 3. Blood, Red Cells, White Cells, Platelets and Total Plasma Volume (72)
- References (76)

CHAPTER VII. DIETARY COMPOSITION AND FOOD CONSUMPTION (77)

- 1. Research Method (77)
- 2. Dietary Composition and Food Consumption for Chinese Reference Man (80)
- 3. Sex-age Group Difference of Chinese Dietary Composition (82)
- 4. Other Influential Factors on Dietary Composition (83)

五、我国膳食组成的国际比较及其特点

参考文献

第八章 营养素、元素和放射性核素的摄入量

一、食入摄入量的研究方法及其国内外进展

二、摄入量及食品中元素和放射性核素含量的卫生评价指标

三、我国各类食品中元素和放射性核素含量及其卫生学评价

四、热能、蛋白质、脂肪和碳水化合物的摄入量及其卫生学评价

五、元素和放射性核素摄入量及其卫生学评价

六、放射性核素食入所致内照射剂量的剂量学模型

参考文献

第九章 水平衡

一、体内的水

二、水的摄入及内生水

三、水的丢失

参考文献

第十章 肺功能正常值及ICRP呼吸道模型

一、引言

二、中国人肺功能正常值

三、ICRP 参考人呼吸道模型

参考文献

5. Comparison of Chinese Dietary

Composition with Foreign Data and Its

Characteristics (86)

References (87)

CHAPTER VIII. DIETARY INTAKES OF NUTRIENTS, ELEMENTS AND

RADIONUCLIDES (89)

1. Research Method for Dietary Intake and

Current Progress (89)

2. Index of Hygienic Evaluation for Dietary

Intake and Food Contents (92)

3. Element and Radionuclide Concentrations

in Various Food Groups of Chinese and

their Hygienic Evaluation (95)

4. Dietary Intakes of Energy, Protein,

Fat, Carbohydrate and their Hygienic

Evaluation (97)

5. Dietary Intakes of Element, Radionuclide

and their Hygienic Evaluation (98)

6. Dosimetric Model for Internal Dose of

Radionuclides by Ingestion (148)

References (150)

CHAPTER IX. WATER BALANCE

..... (151)

1. Water in Human Body (151)

2. Water Intake and Internally Produced

Water (152)

3. Water Loss (154)

References (156)

CHAPTER X. NORMAL VALUES OF LUNG FUNCTION AND RESPIRATORY

TRACT MODEL OF THE ICRP (158)

1. Foreword (158)

2. Normal Values of Lung Function for

Chinese (158)

3. Human Respiratory Tract Model of the

ICRP (168)

References (176)

第十一章 中国正常人器官组织内的元素含量

一、引言

二、元素含量检测的重要性

三、元素的检测方法及质量控制

四、人体内器官组织元素含量

五、与国外资料的比较

参考文献

第十二章 中国人体内某些放射性核素的代谢资料

一、氚

二、锆和铌

三、钌

四、碘

五、铯

六、铈

七、钋

八、铀

九、钚

参考文献

附录 亚洲参考人研究和 Tanaka 模型

一、亚洲参考人研究的主要结果

二、Tanaka 模型

参考文献

CHAPTER XI. ELEMENTAL CONTENT IN ORGANS AND TISSUES OF NORMAL CHINESE

1. Foreword

2. The Importance for Detection of Elemental Content

3. The Methods and Quality Control for Detection of Elements

4. The Elemental Content of Organs and Tissues in Chinese

5. Comparison with Foreign Data

References

CHAPTER XII. SYSTEMIC METABOLISM DATA OF SOME RADIONUCLIDES IN CHINESE BODY

1. Tritium

2. Zirconium and Niobium

3. Ruthenium

4. Iodine

5. Cesium

6. Cerium

7. Polonium

8. Uranium

9. Plutonium

References

APPENDIX. REFERENCE ASIAN MAN STUDY AND THE TANAKA MODEL

1. The Main Results of a Coordinated Research Programme on Reference Asian Man

2. The Tanaka Model for References Asian Man

References

第一章 概 论

一、“参考人”的定义、用途和意义

在辐射防护、放射医学、核医学和其他医药、卫生、保健、劳动、体育等领域以及所有为人使用和使用于人的产品的科研、设计、生产中,都要用到人的解剖、生理和代谢等参数。但这些参数是因人而异的,即使是在性别、年龄和地域相同的一个群体中这些参数在个体间也存在着差异,使得我们的日常工作变得繁琐而困难,若能在某一群体中找到各参数的代表值,将这些代表值有机的综合起来,形成一个典型化了的该群体的标准人或参考人,这样就可以在同一生物学基础上对该群体中的个体统一的对待,不再考虑个体差异,同时也有了一个统一的标准,使不同的群体间可以比较。使得许多工作变得方便、快捷而规范。由于群体中的个体间各参数的变异都有一定的规律,可由参照群体中抽样调查测量再用统计学的方法求出其代表值(均数,中位数或百分位数),然后将其按固有的生物学规律有机的综合起来便形成了参考人。可见参考人(Reference man)或称标准人(Standard man),并不是指具体的人,而是某一特定人群的解剖、生理和代谢等参数的调查统计值经科学分析及综合后形成的描述该人群的形态特性,组织特性,生理和代谢特性等的数据库。参考人典型化了某一特定人群,并用于代表该人群。

由于建立参考人的目的不同,所选用的调查人群(参照人群)不同,包含的内容不同,用途也不同。如用作判断儿童生长发育状况的“生长发育监测用参考人群标准值”,所选用的参照人群(调查人群)是营养不良,身体健康,生长发育正常的儿童。其主要的内容是体重、身高、皮褶厚度、头围、上臂围等,如美国国家健康统计中心(NCHS)参照人群的标准值^[1]。为人类工效学需要而建立的“中国成年人人体尺寸”是以中国从事工业生产的法定成年人(男 18~60 岁,女 18~55 岁)为调查人群,所包含的内容是 74 项体格测量参数^[2],适用于工业产品、建筑设计、军事工业及工业技术改造、设备更新及劳动安全保护,如汽车及坦克车的驾驶室的空间配置和驾驶员座椅设计等。又如为成年人头面部用具产品规格化而建立的“中国成年人头型系列”则是以中国成年人为调查人群,内容主要是头面部 29 个参数^[3]。

在辐射防护领域中,辐射防护导则和基本标准的建立,次级标准如放射性核素的年摄入量限值(ALI),空气导出浓度(ADC)的导出,都需要参考人参数作依据。在辐射防护实践中,内照射剂量估算模式的建立,体模的研制,剂量转换系数的确定,在核事故和核战争应急情况下干预水平的确定和适当防护行动的采取也需要参考人的数据。如核事故情况下食物的管制等需要知道参考人的膳食组成和微量元素的含量等参数。本书重点讨论的是辐射防护用参考人,适用于群体的防护,当需对个体的剂量进行精确的估算时,应尽可能使用该个体的实测数据。

因人体的生长发育和体质特性除受遗传因素的制约外还与营养状况密切相关,社会经济状况的变化影响着人体体格的生长发育,如随着我国经济的发展人民生活水平的提高,国人膳食组成发生了重大变化。1990 年与 1982 年相比,国人植物性食物的日消费量有所减少(谷物减少了 11%,薯类减少了 50%),而动物性食物的消费量明显增加(肉、蛋、奶、水产品分别增加

了 81%, 200%, 323% 和 97%)。由动物性食物提供的能量, 蛋白质和脂肪 1990 年比 1982 年增加了 159%, 169% 和 46%^[4,5]。与此相适应, 国人的生长进入了长期增长趋势的加速阶段^[6]。实际上“参考人”已成为社会变革, 经济发展, 生活水平和卫生水平提高在人体生长发育与体质改善等方面的综合体现。动态研究参考人这个数据库中各个参数的变化及相互的关系, 能够提供提高人民生活质量增强人民体质的指导性方针政策。

二、“参考人”的内容

参考人参数项目很多, 大体可分为下列几类。

1. 解剖参数

1) 体格测量: 包括身高、体重、坐高、头围、胸围、颈围等。

2) 组织(皮肤、骨骼、肌肉、血液、脂肪、结缔组织等)和器官(心、肝、脾、肺、肾、胰、脑、肾上腺、脑垂体、甲状腺、性腺等)的重量、大小、相对密度、位置、组成(水、蛋白、脂肪、矿物质等)等。

2. 生理参数

(1) 肺功能(肺总量、肺活量、每分通气量、8 小时工作通气量等)、呼吸道模型。

(2) 食物的消化、吸收、排泄和消化道模型。

(3) 水平衡(水的日摄入量, 由汗、呼吸、尿和粪的日排出量)。

3. 代谢参数

膳食的组成、各种食物的日消费量, 能量、营养素、元素、放射性核素的日摄入量和组织器官中元素和放射性核素的含量及其代谢和平衡。

4. 发育的阶段特性

人体从胚胎到出生后各发育阶段的解剖、生理和代谢参数的变化及特点。

5. 主要影响因素

社会经济发展、生活习惯、膳食组成、生存环境改变对人体生长发育、解剖、生理和代谢参数的影响。

三、“参考人”研究的历史和现状

1. ICRP 标准人

最先提出“标准人”概念并用于实践的要算是辐射防护领域, 国际放射防护委员会(ICRP)早期在制定放射性核素的最大体内负荷量, 最大容许年摄入量, 空气和水中放射性核素的最大容许浓度时, 需要人体的某些数据(如身高、体重、组织器官重量和密度、元素组成、空气换气量、水和食物的摄入量、各种核素的代谢等参数)。但人体的各种参数因年龄、性别、民族、生活习惯、地理环境等千差万别, 深切感到有一套有代表性的公认的数据将是很方便的。为此 ICRP 于 1949 年在乔克河(Chalk river)容许剂量会议上首次提出了“标准人”的数据, 将人体解剖、生理和代谢等参数规格化。随后在 1950 年第六届国际放射学会议, 1953 年英、美、加三国容许剂量会议, 和第七届国际放射学会议上对“标准人”数据进行了补充。1959 年 ICRP 第二委员会又对其做了较大的增补和修订, 成为较为完整的“标准人”, 并以此数据为基础提出了工作人员因放射性核素沉积所致内照射允许剂量的报告书, 即 ICRP 第 2 号出版物^[7]。

2. ICRP 参考人

鉴于1959年“ICRP 标准人”仍有较大的局限性,1963年ICRP第二委员会建议ICRP成立一个专门工作组负责修订,扩充“标准人”,并建议将“标准人”改称“参考人”。并着手从西欧和北美的白种人调查资料中收集数据,于1975年作为ICRP第23号出版物发布^[8]。该出版物定义“参考人为生活在平均气温10~20℃,年龄在20~30岁,体重70 kg,身高170 cm的男性。他是居住在西欧和北美,并有当地生活习惯的高加索人”。显然这是针对当时在西欧和北美核设施和核企业工作的放射性工作人员。他代表的是西欧和北美的成年男性白种人。这个参考人被当时辐射防护领域所接受,成为辐射防护实践中通用的参考人,并习惯地称之为“ICRP 参考人”。ICRP第23号出版物包括三个方面的内容:①参考人的解剖参数,包括:身高、体重、表面积、相对密度、组成(水、脂肪、蛋白质、无机物等),并按系统(皮肤、骨骼、血液、淋巴、肌肉、心血管、消化、呼吸、泌尿生殖、内分泌、中枢神经、感官等)对各个组织器官逐个描述;②参考人中元素(51种)的含量和在各个组织器官中的分布;③生理学参数包括食物的摄入,吸收和排泄,能量、气体、水、元素的代谢和平衡;④人体各发育阶段解剖、生理方面的变化及妊娠、哺乳及胚胎及胎儿的有关参数。

随着核能和核辐射的开发和利用的发展,核电已逐渐构成人类能源的重要组成部分,放射性核素和电离辐射源在工、农、医和国民经济各个领域广泛应用,核能和核辐射的应用不再局限于核设施和核企业的场所,也不再是发达国家所独有。特别是核事故情况下,环境放射性污染所造成的危害将是全民性的甚至是全球性的,如前苏联切尔诺贝利核电站事故。辐射防护的重点由核工业、核设施转向人类的生存环境,保护的也不再只是从业者而且包括广大公众。ICRP参考人已不能满足辐射防护实践的需要,其明显不足是:①缺少各年龄组的数据,难以用于公众;②代表的是西欧北美白种人,仅占世界人口的13%,而占世界人口50%以上的亚洲人没有得到应有的反映。于是1987年ICRP第二委员会又成立了一个专门工作组,拟对第23号出版物进行修订。旨在针对公众的需要增加各年龄组的参数(新生儿,1岁,5岁,10岁,15岁,20~50岁),并用新的调查和研究资料更新和补充各种参数,注意各种参数的正常变异性。但仍是以西欧、北美的调查资料为基础。拟在附录中增加亚洲人的数据,企图扩大其代表性,修订正在进行中。

3. 亚洲参考人

因ICRP参考人是根据北美和西欧人的调查资料制定的,他们仅占世界人口的13%,代表的是北美、西欧白种人,亚洲国家占世界人口的50%以上,且在人种,生活环境,饮食习惯等都与之有着很大差别,将这些参数用于亚洲国家的辐射防护实践,必然会带来较大的不确定性。如印度人,由于体重和器官重量比ICRP参考人轻,当用同样剂量的放射性药物^{99m}Tc时,印度成年男子的照射剂量比ICRP参考人的剂量高9%~17%。若按单位体重给药,则印度人的有效剂量将比ICRP参考人低7%~16%。又如根据印度人的水的摄入量和肺通气量推导放射性核素的导出空气浓度和水的容许浓度时,则分别比根据ICRP参考人导出的低10%~20%和40%。因为印度人生活在热带,水的摄入量和肺的通气量均大于ICRP参考人^[9]。同样,日本人的膳食中含有大量的天然碘(日本人喜食海藻和海产品),每天每人约摄入500~2000 μg的天然碘,由于同位素的稀释效应,日本人的甲状腺对放射性碘的摄入量,生物半排除期和滞留量均明显低于ICRP参考人^[10]。

鉴于诸如此类的差异对剂量估算和标准制定所产生的影响,在ICRP致力于修订ICRP参

考人的同时,一些国家和地区,特别是那些在种族、地域、生活和饮食习惯等方面与西欧、北美有明显不同的国家和地区也在为制订本国和本地区的参考人而努力。于是印度参考人^[9,11,12]日本参考人^[10,13,14,15],中国参考人^[16,17,18,19],亚洲参考人^[20,21,22]项目相继出现。

1987年11月在日本东京举行的国际原子能机构(IAEA)亚太地区辐射防护协作项目规划会上,IAEA提出开展“亚洲参考人-编辑解剖、生理和代谢参数”协作研究项目,以加强亚太地区辐射防护基础结构的建议,该建议受到与会者的积极响应和支持。1988年10月在日本水户召开了立题会^[18],孟加拉、中国、印度、印度尼西亚、日本、马来西亚、菲律宾、韩国、巴基斯坦、泰国和越南11个国家参加了亚洲参考人项目。

亚洲参考人合作项目第一阶段的重点是:体格测量;主要器官重量;膳食组成;各主要营养素、元素和放射性核素的摄入量;肺功能,水平衡。为与正在修订的ICRP参考人相一致,规定调查的对象包括男女,年龄分新生儿(0~3个月)、婴儿(1岁)、幼儿(5岁)、儿童(10岁)、少年(15岁)、成年(20~50岁)。体格测量包括:身高、体重、坐高、头围、颈围、胸围、胸宽、胸厚。器官重量,要求称重的器官是:脑、心、肺、肝、脾、胰、脑垂体、胸腺、肾上腺、甲状腺、性腺(睾丸、卵巢)和女性乳房。食物组成的分类为:谷物、豆类和坚果、薯类、糖和糖果、脂肪和油、水果、蔬菜、藻类、鱼虾、肉类、蛋类、奶和奶制品、调味品、饮料。元素包括:Al, Ba, Ca, Cs, Cl, Cu, I, Fe, La, Mg, Mn, P, K, Na, Sr, S, Th, U 和 Zn。会上对各项调查的抽样方法、判定标准、操作程序等都制定了具体的方案。

受国家卫生部和核工业部委托,中国医学科学院放射医学研究所与中国辐射防护研究院协作组织实施“亚洲参考人项目”,并研究编辑中国参考人。几乎中断了近10年的中国参考人工作又重新启动。

经过5年的工作,亚洲参考人项目第一阶段总结会于1993年10月在中国天津召开,会议分①体格测量;②骨骼和器官重量;③食物结构、人均日消费量和营养素、元素摄入量;④肺功能;⑤水平衡,5个专题进行总结。会议认为5年来各成员国的工作是积极的,认真的,做了大量的工作,主要成绩如下:

- 1)获得了各参与国人口上述5个方面的资料,并于ICRP参考人相应的参数做了比较;
- 2)找出了那些与ICRP参考人相差较大的参数,以便在辐射防护的实践中予以特别的注意;
- 3)由于已获得了易于量度的解剖、生理和代谢参数,得以去推导和界定那些重要的但难以直接度量的参数;
- 4)为第二阶段的亚洲参考人合作项目选题提供了根据。

鉴于在第一阶段工作中,微量元素的摄入量和器官含量的资料不够充分,由于方法等原因,也不够精确,不能满足建立参考人参数和进行内照射剂量估算的需要。会议建议亚洲参考人项目第二阶段工作的重点是,微量元素的摄入量和器官元素含量的研究。

1995年2月IAEA在日本召开了亚洲参考人项目第二阶段立题会^[23]。会议原则同意第一阶段总结会关于第二阶段工作的建议,启动了题为“辐射防护中重要的微量元素摄入量和器官含量”的研究。为确保质量会议确定了少而精的原则。选择的检测元素是辐射防护中最关键的元素I, Ca, Sr, K, Cs, U, Th。要检测的器官和组织为甲状腺、肝、肾、肺、肌肉和骨骼,并建议尽可能采用先进的核检测技术,I用超热中子活化分析法(ENAA);Cs, U, Th用电感耦合等离子质谱法(ICP-MS);Sr, Ca, K用原子吸收光谱法(AAS)。为保证方法的统一和结果的可靠与可

比,采用标准参考物质对方法进行验证和比对,并引入严格的质量控制和质量保证措施。

对总膳食样品强调具有国家代表性;对器官和组织样品要求新鲜、正常,并特别强调在样品制备过程中严防被测元素的污染和丢失^[24]。

四、“参考人”研究的发展趋势

从“参考人”发展的历史和现状不难看出:

1)参考人是应辐射卫生防护标准制定和在辐射防护实践中内外照射剂量估算的需要而兴起,也随着辐射防护标准和辐射防护实践的日益增高的需求而发展。

2)起初参考人是针对特定职业环境,旨在建立职业人群的参考人。随着核能,核技术的迅速发展和在国民经济各部门的广泛应用,参考人已发展为针对人类的生存环境,目的是建立对公众的,包括各个年龄组的男女系列参考人。

3)考虑到地理环境、民族、生活习惯、膳食结构等差异对人体某些体质特征的影响,为使防护标准的制定更符合本国和本地区的实际,辐射剂量的估算更为合理可靠,越来越多的国家和地区正在致力于建立自己的参考人。

4)计算机的使用,统计学的发展和先进的测量、检测和分析技术的涌现,加速了参考人向代表性,可靠性和先进性发展。

5)辐射防护水平的提高,生命科学自身的发展,使参考人内容不断充实,更新和完善,因此它的作用和意义也日趋重要和广泛。

(王继先)

参 考 文 献

- 1 丁宗一. 儿童生长发育监测. 中国9市儿童青少年体检发育调查资料汇编, 1985. 259~263
- 2 国家技术监督局. 中华人民共和国国家标准 GB 10000-88. 中国成年人人体尺寸. 北京:中国标准出版社, 1988
- 3 中华人民共和国国家标准 GB 2428-81. 中国成年人头型系统. 国家标准总局发布, 1981
- 4 中国预防医学中心. 1982年全国营养调查总结, 1985
- 5 陈君石, 高俊全. 1990年中国总膳食研究工作总结. 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所, 1992
- 6 北京学生体质与健康研究组. 16省(市)汉族学生1979~1985年身体形态、机理与素质分析. 中国学生体质与健康研究. 北京:人民教育出版社, 1987. 186~238
- 7 ICRP. Report of Committee I on Permissible Dose for Internal Radiation. ICRP Publication 2. Oxford: Pergamon Press, 1959
- 8 ICRP. Report of the task group on Reference Man. ICRP Publication 23. Oxford: Pergamon Press, 1975
- 9 Jain S C, Metha S C, Kumar B, et al. Formulation of Reference Indian Adult: Anatomic and Physiologic data. Health Phys., 1995, 68(4): 509~522
- 10 Tanaka G, Kawamura H, Nakahara Y. Reference Japanese Man-1 Mass of Organs and other Characteristics of Normal Japanese. Health Phys. 1979, 36: 333~346
- 11 Raghunath VM, Soman SD. Water Intake for Indian Standard Man. Environmental Health, 1969, 11: 1~7
- 12 Soman SD, Panday VK, Joseph KT, et al. Daily Intake of Some Major and Trace Elements. Health Phys. 1969, 17: 35~40
- 13 Tanaka G. Reference Japanese Anatomical Data. NIRS-M-1992
- 14 Shiraishi K, Yoshimizu, Tanaka G, et al. Daily Intake of 11 Elements in Relation to Reference Japanese. Health Phys., 1989, 57(4): 551~557

- 15 Tanaka G, Kawamura H, Nomura F. Reference Japanese Man- I Distribution of Strontium in the Skeleton and in the Mass of Mineralized Bone, Health Phys. 1981, 40: 601~614
- 16 张英珊. 我国“参考人”身高、体重及其在辐射防护标准中的初步试用. 核防护, 1979, 1: 1
- 17 张英珊. 我国成年人的某些生理参数. 中国核学会辐射防护学会第一次学术会议. 学术交流会议论文选编. 北京: 原子能出版社, 1982. 32
- 18 王继先, 陈如松. 中国参考人的研究, 见: 中国辐射防护院编. 核能与辐射防护. 北京: 原子能出版社, 1994, 99~108
- 19 王继先. 研究“中国参考人”的意义和进展. 生物学通报, 1995, 30(6): 7~8
- 20 Tanaka G. Anatomical and Physical Characteristics for Asian Reference Man-A proposal-NIRS-M-95, 1993
- 21 IAEA Project formulation meeting CRP. Compilation of Anatomical Physiological and metabolic characteristics for a Reference Asian Man Mito City, Japan 17~21 Oct, 1988
- 22 王继先. 亚洲参考人研究进展. 国外医学放射医学与核医学分册. 1994, 16(3): 97
- 23 IAEA/RCA-95-03 Project formulation meeting for phase I of the Reference Asian Man project CRP on ingestion and organ content of trace elements of importance in Radiological protection, Hitachinaka city Japan, 27 Feb-3 March, 1995
- 24 IAEA/RCM-96 First Research Co-ordination Meeting Co-ordinated Research Programme on ingestion and organ content of trace elements of importance in radiological protection Reference Asian Man project 2 Manila, Philippines 1~4 July, 1996

第二章 中国人的体格测量参数参考值

一、身高与体重

身高、体重是人体生长发育的基本标志,是人体的最基本的体格测量参数,确定中国人身高、体重的参考值是建立中国参考人的基础。

1. 资料来源

要确定中国人的身高、体重参考值,首先要了解中国人当前人口的身高、体重现状和增长趋势。为此我们广泛的收集了近年来有关的全国性调查研究的资料,并对收集到的资料就其调查目的、调查方法、测量和统计分析方法进行了考察,对其科学性和代表性作了评价。在此基础上选用了如下6个全国性调查资料以作为推荐参考值的依据。①中国9市儿童、青少年体格发育调查研究^[1];②中国10省农村7岁以下儿童体格发育调查^[2];③中国学生体质与健康研究^[3];④中国成年人人体尺寸调查^[4];⑤1995年9市城郊7岁以下儿童体格发育的调查^[5];⑥1995年中国学生体质与健康调查报告^[6]。

这些调查均由政府组织、专业科研机构负责设计和实施的以科研为目的全国性调查。这些调查是按统计学要求选点抽样,按统一的方法测量和统计分析的。因此,本文所依据的资料是有科学性和代表性的。为确定我国人身高、体重参考值提供了较为充分和可靠的依据。

2. 基本情况

因为1985年的调查资料最为完整和系统,我们把1985年的4个调查资料作为分析基本情况的依据。这4个调查资料合并,构成了覆盖我国28个省、直辖市、自治区,从初生至55岁(女)和60岁(男)约92万城乡人口的体格测量资料。将合并的资料按性别、年龄、地区(南方和北方)及城市和农村分别进行统计分析,得出基本情况如下:

(1)身高、体重随年龄增长的阶段性和性别特点 人的身高、体重随年龄增长而变化。图

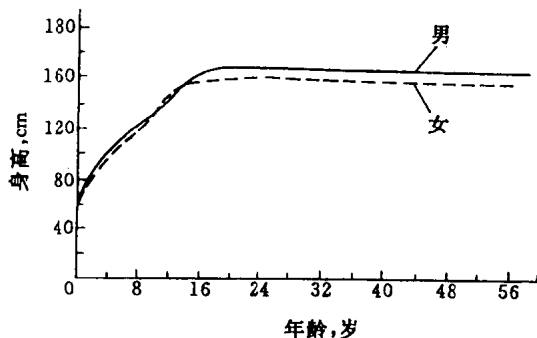


图 2.1 中国人的身高随年龄的变化

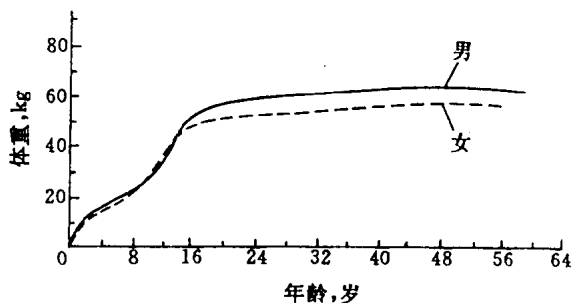


图 2.2 中国人的体重随年龄的变化

2.1,图 2.2 是根据1985年的4个调查资料的统计结果绘制的身高、体重随年龄变化的曲线。由图可见身高、体重随年龄而增长并呈现明显的阶段性。从初生到2岁身高和体重增长异常迅

速,是所谓快速增长期。第三年进入均匀增长阶段,男3~11岁、女3~8岁。女孩自9岁进入突增期,身高、体重再度迅速增长,11~13岁时身高、体重超过男孩。男孩自12岁开始进入突增期,而此时女孩进入缓慢增长期,所以男孩身高、体重再度超过女孩,然后男孩也进入缓慢增长期,身高增长速度逐年递减,相继男女皆是所谓稳定期,这一阶段身高、体重增长均不明显。22岁后平均身高有随年龄增大而降低趋势,体重有增加的趋势。

(2)地区差异 我国幅员辽阔,考虑到气候、地质、民族等对人体生长发育的影响及在身高、体重增长上的反映,我们以淮河、秦岭为界,分南方和北方进行统计分析。结果见表2.1,表2.2。总的规律是无论城市还是农村北方人口的身高、体重均大于南方人口,差异有显著性。这种差异除与气候、生活习惯、经济文化水平有关外,还可能与体质类型的分化等遗传因素有关^[10]。但考虑到各个调查资料在选点、抽样和调查人数分布等方面都已考虑到地区差异,所以本文在推荐参考值时未再对地区差异做调整。

(3)城乡差别 由于我国城乡间在经济、文化、生活和环境等方面还存在着较大的差别,对城乡人口发育有一定的影响,表现为城市人口的身高、体重均显著的大于乡村人口,这种差别南方比北方更为明显。城乡人口身高、体重差别存在于各个年龄组,在生长发育高峰期尤为突出。如男性在15岁时南方城乡间的差别身高为5.4 cm,体重为2.7 kg,北方城乡间的差别身高为4.6 cm,体重为2.5 kg。女性在10岁时南方城乡间的身高差别为5.6 cm,体重差别为2.1 kg,北方城乡间的差别身高体重分别为4.3 cm和1.6 kg(表2.1,表2.2)。值得注意的是女性在20~30岁组身高虽城市人高于乡村人,但体重则是乡村人大于城市人,这可能与该年龄组的城市女性更注重形体美而有意控制体重的因素有关。

表 2.1 中国城乡人口身高比较(cm)

性别	年龄,岁	城市						乡村						城乡差别	
		北方			南方			北方			南方			北方	南方
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	差		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	差			
男	0	50.6	1.7	50.2	1.7	0.4		50.4	1.8	50.0	1.8	0.4		0.2	0.2
	1	76.9	2.7	76.0	2.8	0.9		75.0	2.8	74.0	2.9	1.0		1.9	2.0
	5	108.9	4.3	107.9	4.3	1.0		105.2	4.3	103.5	4.5	1.7		3.7	4.4
	10	136.3	5.8	134.7	5.8	1.6		132.8	5.7	130.3	5.9	2.5		3.5	4.4
	15	165.4	6.9	164.2	6.6	1.2		160.8	7.2	158.8	7.2	2.0		4.6	5.4
	20~30	170.3	5.7	168.1	5.8	2.2		168.7	5.4	166.3	6.1	2.4		1.6	1.8
	20~50	169.1	5.5	166.7	5.6	2.4		167.1	4.6	163.4	5.5	3.7		2.0	3.3
女	0	50.0	1.6	49.5	1.6	0.5		49.7	1.7	49.7	1.8	0.3		0.3	0.1
	1	75.4	2.8	74.5	2.7	0.9		73.8	2.9	72.4	2.9	1.4		1.6	2.1
	5	107.7	4.3	107.0	4.3	0.7		104.3	4.4	102.6	4.7	1.7		3.4	4.4
	10	136.9	6.6	135.6	6.4	1.3		132.6	6.5	130.0	6.5	2.6		4.3	5.6
	15	157.5	5.3	156.1	5.2	1.4		155.6	5.1	153.1	5.2	2.5		1.9	3.0
	20~30	159.3	5.2	157.0	5.2	2.3		158.0	5.1	155.5	4.9	2.5		1.3	1.5
	20~50	158.1	5.0	155.7	5.1	2.4		156.0	5.1	152.2	4.4	4.0		2.1	3.5

表 2.2 中国城乡人口体重比较(kg)

性别	年龄, 岁	城市					乡村					城乡差别	
		北方		南方		差	北方		南方		差	北方	南方
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s			
男	0	3.2	0.4	3.2	0.4	0	3.2	0.4	3.2	0.4	0	0	0
	1	10.1	1.0	9.7	1.0	0.4	9.5	1.0	9.0	1.0	0.5	0.6	0.7
	5	17.6	1.9	17.1	1.9	0.5	16.6	1.7	16.0	1.6	0.6	1.0	1.1
	10	28.8	4.3	27.7	4.0	1.1	27.1	3.4	26.0	3.2	1.1	1.7	1.7
	15	50.4	7.2	49.3	6.5	1.1	47.9	7.1	46.6	6.5	1.3	2.5	2.7
	20~30	60.7	6.1	56.1	6.0	4.0	58.5	5.3	55.5	6.0	2.5	0.7	0.6
	20~50	63.3	8.2	57.5	8.1	5.8	61.0	8.5	57.6	7.5	3.4	3.0	0.7
女	0	3.1	0.4	3.1	0.3	0	3.1	0.4	3.1	0.7	0	0	0
	1	9.5	1.0	9.0	1.0	0.5	8.9	1.0	8.4	1.0	0.5	0.6	0.6
	5	16.9	1.8	16.5	1.8	0.4	16.1	1.8	15.5	1.6	0.6	0.8	1.0
	10	28.4	4.6	27.7	4.1	0.7	26.8	3.9	25.6	3.5	1.2	1.6	2.1
	15	47.0	5.7	46.0	5.5	1.0	46.8	5.5	45.5	5.3	1.3	0.2	0.5
	20~30	51.0	5.6	48.7	5.4	2.6	51.5	5.4	49.6	6.1	1.9	-0.2	-0.9
	20~50	55.5	7.4	51.2	7.2	4.9	55.0	7.6	51.6	6.8	3.4	0.5	-0.4

由于城市人口在我国总人口中所占的比例随经济的发展有所增加,如 1975 年城市人口占 17.3%,乡村人口占 82.7%;1985 年城市人口占 36.6%,乡村人口占 63.4%^[11]。因此,在推荐参考值时应考虑到城乡人口在身高、体重上的差异和城乡人口的比例变化。

3. 长期增长趋势

为了解中国人口(主要是儿童和青少年)身高、体重增长的长期趋势,我们还收集了 1975 年相应的调查资料并与 1985 年的调查资料作了比较。据资料^[9,12,13]分析,近 10 年来我国儿童、青少年生长迅速,正处于生长长期趋势加速阶段。其表现是生长发育有提前的趋势,突增期提前,突增高峰年增长幅度大,纵向生长速度快于横向生长速度。如我国 9 市 7~18 岁城市男女和乡村男女身高,1975~1985 年 10 年间分别平均增长了 3.3 和 2.7;3.5 和 2.6 cm,体重相应增长了 2.6 和 1.7;2.2 和 1.6 kg^[12],其增长值远远超过欧美的以每 10 年身高增长 1~2 cm,体重增长 0.5~1.0 kg 的速度。又如 1955~1985 年 30 年间,北京市 7~17 岁男女学生的身高每 10 年分别增高 1.6,2.0,4.2 cm 和 1.8,2.3,2.8 cm;男女学生体重分别增长 0.4,1.0,3.6 kg 和 0.9,1.4,2.1 kg^[9]。和同期日本学生增长趋势比较,北京学生身高每 10 年增长率呈递增的趋势,而日本学生 10 年增长率呈递减的趋势(表 2.3)。看来,目前中国人身高、体重的增长潜力大于日本人^[14],正处于增长的加速阶段。

新近(1995 年)的调查资料^[5,6],与 1985 年的调查资料相比,7~17 岁城乡男女儿童青少年的身高、体重又有明显的增长。10 年间城市男女身高分别增长了 2.9 和 2.3 cm,乡村男女分别增长了 3.6 和 3.1 cm。城市男女体重分别增长了 4.5 和 3.0 kg,乡村男女分别增长了 2.6 和 2.1 kg。因此,中国儿童青少年的生长发育长期加速趋势正在发展,且身高的增长显现出乡村

比城市有更强趋势(表 2.4,表 2.5),使城乡间差别趋于缩小。随着我国经济的快速发展,人民生活水平的普遍提高,这一快速增长趋势将会持续下去。在推荐参考人的身高体重时,对这一趋势必须有所认识。

表 2.3 北京市与日本学生身高(cm)增长速度比较

性 别	年 龄 · 岁	1955~1964				1965~1974				1975~1984			
		北 京		日 本		北 京		日 本		北 京		日 本	
		增长值	增长率	增长值	增长率	增长值	增长率	增长值	增长率	增长值	增长率	增长值	增长率
		%		%		%		%		%		%	
男	7	1.69	1.42	2.7	2.34	2.71	2.25	2.6	2.20	1.32	1.10	1.54	1.28
	8	1.83	1.50	3.7	3.08	3.81	3.08	2.0	1.61	1.44	1.13	0.84	0.66
	9	2.19	1.72	3.7	2.96	2.56	1.98	2.8	2.17	2.25	1.70	0.94	0.72
	10	1.87	1.41	4.0	3.09	1.18	0.88	2.8	2.10	3.53	2.60	1.09	0.80
	11	2.33	1.72	4.7	3.61	1.87	1.35	3.4	2.45	4.88	3.20	1.44	1.02
	12	0.97	0.68	5.5	3.95	2.68	1.87	3.9	2.70	3.99	2.73	1.82	1.23
	13	1.48	1.00	6.4	4.40	2.56	1.71	4.4	2.90	7.56	4.97	2.00	1.28
	14	1.23	0.79	6.6	4.35	1.39	0.89	3.9	2.46	7.39	4.68	1.75	1.08
	15	1.17	0.73	5.1	3.22	1.51	0.93	2.5	1.53	5.99	3.66	1.26	0.76
	16	0.73	0.44	4.1	2.54	1.94	1.17	2.2	1.33	3.37	2.01	1.05	0.63
	17	2.13	1.28	3.4	2.08	-0.18	-0.11	2.0	1.20	3.95	2.34	1.38	0.82
	平均值	1.60	1.15	4.5	3.04	2.00	1.45	2.5	2.06	4.15	2.74	1.37	0.93
女	7	1.22	1.04	3.2	2.79	2.82	2.37	2.3	1.95	1.25	1.03	1.31	1.09
	8	1.26	1.04	3.7	3.10	4.46	3.65	2.4	1.95	1.60	1.26	0.52	0.41
	9	1.38	1.09	4.0	3.21	3.45	2.70	3.1	2.41	2.67	2.04	1.15	0.88
	10	1.15	0.87	4.7	3.63	4.42	3.32	3.4	2.53	2.70	1.97	1.54	1.12
	11	2.81	2.06	5.5	4.08	3.80	2.73	3.8	2.71	3.9	2.73	1.51	1.05
	12	1.92	1.34	5.3	3.76	3.86	2.66	3.3	2.26	2.86	1.92	1.33	0.89
	13	1.96	1.32	4.6	3.16	1.46	0.97	2.9	1.93	4.62	3.63	0.99	0.65
	14	2.33	1.53	3.6	2.42	-0.44	-0.28	2.5	1.64	3.94	2.56	1.19	0.77
	15	3.05	1.98	2.3	1.52	-0.08	-0.05	1.7	1.10	2.51	1.60	1.32	0.85
	16	1.59	1.02	3.0	1.97	1.55	0.99	0.6	0.93	1.82	1.15	1.06	0.68
	17	1.35	0.86	1.6	1.04	-0.32	-0.20	1.5	0.97	2.69	1.71	1.11	0.71
	平均值	1.82	1.29	3.77	2.79	2.27	1.71	2.52	1.80	2.78	1.91	1.18	0.82

表 2.4 1985~1995 年间中国儿童、青少年身高(cm)增长值和增长率(%)

年 龄	男				女			
	城 市		乡 村		城 市		乡 村	
	增长值	%	增长值	%	增长值	%	增长值	%
新生儿	0.2	0.40	0.1	0.20	0.2	0.40	0.1	0.20
3 个月	0.6	0.95	0.8	1.28	0.5	0.81	0.9	1.47
1 岁	0.8	1.03	1.2	1.58	0.8	1.05	1.6	2.13
2 岁	1.2	1.35	1.6	1.84	1.5	1.70	2.1	2.44
3 岁	1.7	1.76	1.8	1.91	1.7	1.77	2.5	2.67
4 岁	1.6	1.54	2.0	1.89	1.6	1.56	2.1	2.10
5 岁	1.9	1.72	2.2	2.05	2.2	2.00	2.2	2.07
6 岁	1.7	1.44	2.5	2.19	2.0	1.71	2.2	1.94
7 岁	2.1	1.69	3.3	2.72	2.2	1.78	3.4	2.82

(续表)

年 龄	男				女			
	城 市		乡 村		城 市		乡 村	
	增长值	%	增长值	%	增长值	%	增长值	%
8岁	2.9	2.24	3.5	2.78	2.1	1.64	3.6	2.87
9岁	2.5	1.86	3.5	2.67	2.7	2.01	3.3	2.53
10岁	2.9	2.08	3.4	2.51	2.7	1.93	4.5	3.30
11岁	3.9	2.67	3.6	2.56	5.7	3.88	4.5	3.16
12岁	4.8	3.16	4.9	3.34	3.0	1.97	4.8	3.24
13岁	4.7	2.93	4.7	3.04	1.6	1.02	2.9	1.89
14岁	3.6	2.17	5.3	3.30	1.3	0.82	2.5	1.61
15岁	2.6	1.54	3.9	2.37	1.5	0.94	1.1	1.22
16岁	1.9	1.11	2.6	1.56	1.1	0.69	1.7	1.08
17岁	0.6	0.35	1.3	0.78	0.8	0.50	1.0	0.64

表 2.5 1985~1995 年间中国儿童、青少年体重(kg)增长值和增长率(%)

年 龄	男				女			
	城 市		乡 村		城 市		乡 村	
	增长值	%	增长值	%	增长值	%	增长值	%
新生儿	0.1	3.03	0.1	3.03	0.1	3.13	0.1	3.12
3个月	0.2	2.86	0.3	4.35	0.2	3.13	0.3	4.69
1岁	0.3	2.94	0.4	4.12	0.3	3.16	0.5	5.43
2岁	0.3	2.38	0.4	3.33	0.4	3.33	0.5	4.35
3岁	0.5	3.47	0.5	3.60	0.6	4.29	0.6	4.29
4岁	0.6	3.70	0.6	3.87	0.6	3.80	0.6	4.03
5岁	1.0	5.46	0.7	4.07	1.1	6.18	0.8	4.79
6岁	1.2	5.71	1.0	5.18	1.3	6.37	0.8	4.28
7岁	2.1	8.71	1.5	6.85	2.0	8.73	1.6	7.55
8岁	3.0	11.24	1.7	7.05	2.0	8.00	1.8	7.73
9岁	3.4	11.49	2.0	7.58	3.6	12.33	1.8	7.03
10岁	4.1	12.50	2.2	7.59	3.1	9.84	2.7	9.28
11岁	5.4	14.52	2.7	8.41	4.0	10.93	3.0	9.12
12岁	5.9	14.29	3.6	10.00	4.5	10.84	3.6	9.63
13岁	6.3	13.15	4.0	9.50	3.3	7.27	1.8	4.31
14岁	6.0	11.39	4.1	8.80	2.8	5.87	2.2	4.88
15岁	5.1	9.16	3.3	6.50	3.2	6.41	1.7	3.56
16岁	4.8	8.18	2.5	4.63	2.5	4.92	2.4	4.76
17岁	3.6	6.03	1.1	1.99	1.8	3.52	0.9	1.79

4. 推荐参考值所考虑的原则

(1)根据中国人身高、体重随年龄增长的阶段性和性别的特点,按年龄发育阶段(新生儿、婴儿、幼儿、儿童、青少年、成人)分别建立男女身高、体重参考值是合适的。参考ICRP关于年龄依赖剂量因子的作法^[15],分别以0~3个月,1,5,10,15,20~50岁作为上述各发育阶段的代表年龄,分别推荐男女各代表年龄组系列参考值。为便于与前人工作相比较,也推荐了20~30岁的参考值。

(2)按城乡人口比例,计算加权均值,以调整城乡差别。

(3)考虑到我国儿童、青少年正处于生长发育长期趋势的加速阶段,推荐身高、体重的参考值时应对长期增长趋势加以调整,以使参考值具有一定的预见性和较长期的适用性。

(4)考虑到实际应用的方便,参考值应尽可能取整数。

5. 推荐的中国人身高、体重参考值

(1)根据 1985 年调查资料推荐的参考值 根据上述推荐身高、体重参考值所考虑的原则,在 1993 年据 1985 年 4 个调查资料按如下的程序推荐了中国人身高、体重的参考值(简称“1985 参考值”)[16]:

1)据 1985 年和 1975 年的调查结果,分别列出城市、乡村男女 0,3 个月,1,5,10,15,20~50 和 20~30 岁各年龄组 1985 年和 1975 年的身高、体重均值。

2)据 1985 年和 1975 年各年龄组城市、乡村人口比例,计算出各年龄组男女 1985 年和 1975 年的身高、体重加权均值。

3)以 10 年增长值(即 1985 年与 1975 年男女各年龄组身高、体重的加权均值之差)作为增长长期趋势调整的数据。

4)1985 年男女各年龄组身高、体重的加权均值加 10 年增长值,求得各年龄组身高、体重参考值的基数。

5)按整数原则,对参考值基数取整数,以作为中国人男女各年龄组的身高、体重参考值的推荐值。

推荐过程和结果列于表 2.6 和表 2.7。

表 2.6 中国人身高(cm)参考值的推荐(1985 参考值)

性别	年龄,岁	城 市				乡 村				加权平均值		差值	参考值
		1985		1975		1985		1975		1985	1975		
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	$\bar{x}$		
男	新生儿	50.3	1.6	50.6	1.9	50.2	1.8	50.2	1.7	50.2	50.3	-0.1	50.0
	0.25	62.3	2.4	62.3	2.5	61.3	2.5	61.5	2.7	61.7	61.6	0.1	62.0
	1	76.3	2.8	75.6	3.1	74.4	3.1	73.7	3.1	75.0	74.0	1.0	76.0
	5	108.2	4.4	107.2	4.6	104.1	4.5	103.9	4.7	105.6	104.4	1.2	107.0
	10	135.5	5.9	134.4	5.9	131.5	5.9	129.7	5.6	133.0	130.5	2.5	136.0
	15	164.8	6.8	162.0	7.4	159.8	7.3	156.5	7.6	161.6	157.5	4.1	166.0
	20~30	169.3	5.9	169.3	5.7	167.1	5.5	165.8	6.0	167.9	166.5	1.4	170.0
	20~50	168.9	5.9	168.7	6.0	166.6	5.5	165.4	5.2	167.4	166.0	1.4	169.0
女	新生儿	49.7	1.6	50.0	1.8	49.5	1.7	49.7	1.2	49.6	49.8	-0.2	50.0
	0.25	60.9	2.2	60.9	2.4	59.9	2.4	60.1	2.6	60.3	60.2	0.1	60.0
	1	74.9	2.8	74.1	3.0	72.9	3.8	72.3	3.2	73.6	72.6	1.0	75.0
	5	107.3	4.3	106.5	4.4	103.2	4.6	102.0	4.5	104.7	102.8	1.9	107.0
	10	136.3	6.5	134.8	6.4	131.3	6.6	129.2	6.0	133.1	130.2	2.9	136.0
	15	156.8	5.3	155.5	5.6	154.1	5.2	153.0	5.6	155.1	153.4	1.7	157.0
	20~30	158.2	5.3	157.8	5.2	156.3	5.0	155.9	5.5	157.6	156.2	1.4	160.0
	20~50	157.8	5.3	156.9	5.4	155.8	5.8	155.5	5.5	156.6	155.7	0.9	158.0

表 2.7 中国人体重(kg)参考值的推荐(1985 参考值)

性别	年龄, 岁	城 市				乡 村				加权平均值		差值	参考值
		1985		1975		1985		1975		1985	1975		
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	$\bar{x}$		
男	新生儿	3.2	0.4	3.3	0.4	3.2	0.4	3.2	0.4	3.2	3.2	0.0	3.0
	0.25	6.7	0.8	6.7	0.8	6.5	0.8	6.5	0.9	6.6	6.5	0.1	7.0
	1	9.7	1.0	9.7	1.1	9.1	1.0	9.0	1.2	9.4	9.1	0.3	10.0
	5	17.2	2.0	16.9	1.8	16.2	1.7	16.1	1.6	16.6	16.2	0.4	17.0
	10	28.2	4.2	27.2	3.5	26.6	3.4	26.0	3.0	27.2	26.2	1.0	28.0
	15	50.0	6.9	46.9	6.5	47.3	6.8	43.6	5.5	48.3	44.2	4.1	52.0
	20~30	58.7	7.0	59.8	6.1	58.2	5.2	57.9	6.0	58.4	58.2	0.2	60.0
	20~50	59.0	7.3	60.0	7.0	58.5	5.3	58.2	6.1	58.7	58.2	0.2	60.0
女	新生儿	3.1	0.3	3.2	0.4	3.1	0.4	3.2	0.4	3.1	3.2	-0.1	3.0
	0.25	6.2	0.7	6.2	0.8	6.8	0.7	6.0	0.8	6.1	6.0	0.1	6.0
	1	9.1	1.0	9.0	1.0	8.5	1.0	8.4	1.0	8.7	8.5	0.2	9.0
	5	16.6	1.8	16.5	1.7	15.7	1.7	15.6	1.6	16.0	15.8	0.2	16.0
	10	28.1	4.4	27.1	3.6	26.2	3.8	25.4	3.2	26.9	25.7	1.2	28.0
	15	46.5	5.6	45.4	5.6	46.2	5.4	43.8	5.5	46.3	44.1	2.2	48.0
	20~30	50.5	6.2	52.8	5.8	51.4	5.3	52.6	5.5	51.1	52.6	-1.5	52.0
	20~50	51.4	6.9	54.0	4.1	52.5	5.4	52.7	6.0	52.1	52.9	-0.8	52.0

(2)对“1985 参考值”的检验:

1985 身高体重参考值是在 1993 年根据 1985 年的调查资料和 1975 年到 1985 年 10 年身高、体重的增长值为基础推荐的,旨在作为当时(即 1995 年前后)的参考值用。1996 年五部委联合组织的中国学生体质与健康研究组发表了“’95 中国学生体质与健康调查报告^[5]”,1998 年首都儿科研究所,九市儿童体格发育调查协作组发表了“1995 年九市城郊七岁以下儿童体格发育调查报告^[6]”,提供了 1995 年从新生儿到 22 岁的中国男女人口体格测量资料。为了检验“1985 参考值”推荐原则的可行性和所推荐的参考值的适用性,在表 2.8,表 2.9 列出了 1995 年身高、体重的测量值和“1985 参考值”以便比较。

从表 2.8,表 2.9 可见,两者基本上是相符的,但在个别年龄(主要是在 5,10 岁)“1985 参考值”略低于 1995 年的测量值,如身高最大差别是男 5 岁,相差 2 cm,低于 1995 年实测值 1.83%。体重最大差别是男 10 岁,低于 1995 年实测值 2.2 kg(7.28%),反映了“1985 参考值”对突增期提前和突增期增幅的估计不足。总的看来用以推荐“1985 参考值”所使用的原则是可行的,推荐值在 1995 年前后还是适用的。

(3)根据 1995 年的调查资料推荐的参考值(简称“1995 参考值”):

从 1995 年的调查资料与 1985 年资料的对比说明,我国儿童、青少年的生长、发育的长期加速趋势方兴未艾,现国家大力推行的加强内地开发和科技兴农和扶贫的政策,将会带动内地和乡村经济的发展,人民生活水平的全面提高,我国儿童青少年体格发育的潜力将会得以充分发挥,身高、体重快速增长的趋势将会持续。鉴于“1985 参考值”已部分落后于 1995 年的实际

调查值,为了使参考值有一定的预见性和较长期的适用性(至少到下世纪初)。我们根据 1995 年的最新调查资料和 1985~1995 年的身高、体重增长值按推荐“1985 参考值”同样的原则推荐了新的身高、体重参考值,见表 2.10,表 2.11。

表 2.8 1995 年身高(cm)测量值与“1985 参考值”的比较

年龄,岁	男			女		
	1995 年测量值	1985 参考值	差	1995 年测量值	1985 参考值	差
0	50.4	50.0	0.4	49.8	50.0	-0.2
0.25	62.8	62.0	0.8	61.5	60.0	1.5
1	76.7	76.0	0.7	75.5	75.0	0.5
5	109.0	107.0	2.0	108.2	107.0	1.2
10	136.9	136.0	0.9	137.5	136.0	1.5
15	165.7	166.0	-0.3	157.0	157.0	0
20~30	169.6	170.0	-0.4	158.4	160.0	-1.6
20~50	—	169.0	—	—	158.0	—

表 2.9 1995 年体重(kg)测量值与“1985 参考值”的比较

年龄,岁	男			女		
	1995 年测量值	1985 参考值	差	1995 年测量值	1985 参考值	差
0	3.3	3.0	0.3	3.2	3.0	0.2
0.25	7.0	7.0	0.0	6.4	6.0	0.4
1	10.0	10.0	0.0	9.4	9.0	0.4
5	17.8	17.0	0.8	17.3	16.0	1.3
10	30.2	28.0	2.2	29.8	28.0	1.8
15	52.2	52.0	0.2	48.0	48.0	0.0
20~30	58.9	60.0	-1.1	50.6	52.0	-1.4
30~50	—	60.0	—	—	52.0	—

表 2.10 中国人身高(cm)参考值的推荐(1995 参考值)

年龄,岁	男			女		
	1995 年测量值	1985~1995 增长值	推荐参考值	1995 年测量值	1985~1995 增长值	推荐参考值
0	50.4	0.2	50.5	49.8	0.2	50.0
0.25	62.8	0.7	63.0	61.5	0.7	62.0
1	76.7	1.0	78.0	75.5	1.2	77.0
5	109.0	2.0	111.0	108.2	2.2	110.0
10	136.9	3.1	139.0	137.5	3.6	140.0
15	165.7	3.3	168.0	157.0	1.7	158.0
20~30	169.6	0.9	170.5	158.4	0.9	159.0
20~50	—	—	170.0	—	—	158.0

表 2.11 中国人体重(kg)参考值的推荐(1995 参考值)

年龄,岁	男			女		
	1995 年测量值	1985~1995 增长值	推荐参考值	1995 年测量值	1985~1995 增长值	推荐参考值
0	3.3	0.1	3.4	3.2	0.1	3.3
0.25	7.0	0.3	7.0	6.4	0.3	7.0
1	10.0	0.3	10.5	9.4	0.4	10.0
5	17.8	0.9	19.0	17.3	1.0	18.0
10	30.2	3.2	32.0	29.8	2.9	32.0
15	52.2	4.2	55.0	48.0	2.5	50.0
20~30	58.9	2.4	60.0	50.6	1.4	52.0
20~50	—	—	60.0	—	—	52.0

6. “1995 参考值”与由身高、体重回归方程推算的体重与身高值的比较

为验证推荐的身高与体重参考值的合理性,根据成年人身高、体重的回归方程^[4],由参考体重推算了身高和由参考身高推算了体重。结果列入表 2.12,由表可见推算值与推荐的身高、体重参考值非常接近。

回归方程:

男

$Y_{\text{身高}}=1473.20+3.4195\times\text{体重}$

$r=0.4860$

$Y_{\text{体重}}=-24.3554+0.4992\times\text{身高}$

$r=0.5061$

女

$Y_{\text{身高}}=1422.79+2.7634\times\text{体重}$

$r=0.3900$

$Y_{\text{体重}}=-34.20+0.5515\times\text{身高}$

$r=0.5048$

表 2.12 成年男女身高、体重参考值与由回归方程推算值的比较

性别	指标	参考值	推算值	差	
				值	%
男	身高,cm	170.0	168.0	2.0	1.18
	体重,kg	60.0	60.5	0.5	0.83
女	身高,cm	158.0	157.0	1.0	0.63
	体重,kg	52.0	52.9	-0.9	1.73

7. “1995 参考值”与“1985 参考值”^[16]和日本参考人^[17]和亚洲参考人(Tanaka model)^[18]身高体重值的比较

从表 2.13 可见,根据 1995 年调查资料推荐的男女身高参考值比“1985 参考值”略有增高,与亚洲参考人(Tanaka model)相近,但高于日本参考人。而体重“1995 参考值”与日本参考人和亚洲参考人的体重相似,高于“1985 参考值”。“1995 参考值”成年人身高、体重与 1975 年 ICRP 参考人和 ICRP 正在修订的参考人相差较大。1975 年 ICRP 参考人男、女身高分别为 170 cm 和 160 cm,体重分别为 70 kg 和 60 kg^[19]。而新近修订的 ICRP 参考人男、女身高分别为 176 cm 和 163 cm,体重分别为 73 kg 和 60 kg^[20]。

表 2.13 中国人身高、体重参考值与日本参考人和亚洲参考人身高、体重的比较

性 别	年 龄 ， 岁	身 高 ,cm				体 重 ,kg			
		中 国		日 本	亚洲参考人	中 国		日 本	亚洲参考人
		1995 参考值	1985 参考值	参考人	(Tanaka model)	1995 参考值	1985 参考值	参考人	(Tanaka model)
男	0	50.5	50.0	52.1*	50.0	3.4	3.0	4.4*	3.2
	0.25	63.0	62.0	66.4	66.4	7.0	7.0	7.0	7.0
	1	78.0	76.0	81.4	81.5	10.5	10.0	10.6	10.7
	5	111.0	107.0	110.6	110.9	19.0	17.0	18.9	18.5
	10	139.0	136.0	137.3	135.7	32.0	28.0	32.4	30.3
	15	168.0	166.0	166.8	165.1	55.0	52.0	56.9	53.7
	20~30	170.5	170.0	168.8	170.1	60.0	59.0	61.5	59.9
	20~50	170.0	169.0	167.4	170.0	60.0	60.0	61.7	60.0
女	0	50.0	50.0	55.3*	49.5	3.3	3.0	4.2*	3.2
	0.25	62.0	60.0	65.7	65.7	7.0	6.0	7.0	7.0
	1	77.0	75.0	79.1	79.5	10.0	9.0	10.5	10.4
	5	110.0	107.0	109.6	110.0	18.0	16.0	19.2	18.0
	10	140.0	136.0	138.7	137.6	32.0	28.0	33.6	30.5
	15	158.0	157.0	157.0	156.1	50.0	48.0	51.3	49.5
	20~30	159.0	160.0	156.4	155.6	52.0	52.0	51.5	51.1
	20~50	158.0	158.0	155.7	155.0	52.0	52.0	51.9	51.3

* 0~1个月

二、坐高、头围和胸围

坐高、头围和胸围的资料不象身高、体重那样丰富,为推荐参考值我们仅将资料中同时有身高、体重、坐高、头围和胸围测量值的资料进行统计分析,分别算出坐高、头围和胸围所占身高的比例(百分比)再乘以身高参考值,以作为推荐的坐高、头围和胸围的参考值(表 2.14)。为了验证其推算结果的可靠性,同时用成年男女的坐高、头围与身高和胸围与体重的回归方程^[4]计算了坐高、头围和胸围的推算值并与推荐的参考值作了比较(表 2.15),结果基本一致,最大差别是男性头围和女性胸围,推荐值比推算值分别大了 1.23%和 1.19%。

表 2.14 中国人身高、坐高、头围、胸围与身高的比例(%)及推荐的参考值(cm)

性 别	年 龄,岁	身高参考值	坐 高		头 围		胸 围	
			%	参考值	%	参考值	%	参考值
男	0	50.2	66.7	33.5	67.7	34.0	64.5	32.5
	1	78.0	61.4	48.0	60.0	47.0	59.5	46.5
	5	111.0	56.4	62.5	46.9	52.0	50.1	55.5
	10	139.0	53.7	74.5	37.9	53.0	46.5	65.0
	15	168.0	53.4	89.5	33.2	56.0	48.2	81.0
	20~50	170.0	54.2	92.0	33.6	57.0	52.0	88.0

(续表)

性 别	年龄,岁	身高参考值	坐 高		头 围		胸 围	
			%	参考值	%	参考值	%	参考值
女	0	50.0	65.7	33.0	67.7	34.0	64.7	32.5
	1	77.0	61.0	47.0	59.7	46.0	59.1	45.5
	5	110.0	56.3	62.0	46.4	51.0	49.3	54.0
	10	140.0	54.0	76.0	37.7	53.0	45.7	64.0
	15	158.0	54.3	86.0	34.0	54.0	48.4	76.5
	20~50	158.0	54.5	86.0	34.8	55.0	53.0	84.0

表 2.15 推荐参考值与回归方程推算值的比较(cm)

性别	指标	参考值	推算值	差	%
男	坐高	92.0	91.8	0.2	0.22
	头围	57.0	56.3	0.7	1.23
	胸围	88.0	87.2	0.8	0.91
女	坐高	86.0	85.9	0.1	0.12
	头围	55.0	54.7	0.3	0.55
	胸围	84.0	83.0	1.0	1.19

坐高与身高的回归方程

男: $Y_{\text{坐高}} = 188.5371 + 0.4289 X_{\text{身高}} \quad r = 0.828$

女: $Y_{\text{坐高}} = 185.6861 + 0.4261 X_{\text{身高}} \quad r = 0.845$

头围与身高的回归方程

男: $Y_{\text{头围}} = 433.3662 + 0.0760 X_{\text{身高}} \quad r = 0.290$

女: $Y_{\text{头围}} = 400.9475 + 0.0925 X_{\text{身高}} \quad r = 0.308$

胸围与体重的回归方程

男: $Y_{\text{胸围}} = 540.8821 + 5.5221 X_{\text{体重}} \quad r = 0.845$

女: $Y_{\text{胸围}} = 458.4824 + 7.1475 X_{\text{体重}} \quad r = 0.866$

三、其他体格测量参数

其他体格测量参数因资料不够系统和完整,难以给出男女各年龄组的系列参考值,考虑到建立体模的实际需要,现根据所能收集到的有限的测量资料,用各参数测量值与身高的实测比例(%)乘以身高参考值而得出成年人(20~50岁)的下列体格测量参数参考值(表 2.16)供参考。

表 2.16 其他体格测量参数参考值

参数	参考值,cm	
	男	女
头全高	22.5	22.0
头最大宽	15.5	15.0
头最大长	18.5	18.0
颈 围	37.0	34.0
肩 宽	38.0	35.5
胸 宽	28.5	26.0
胸 厚	21.5	20.0
腰 围	74.0	77.0
上臂长	31.5	29.0
前臂长	24.0	21.5
手 长	18.5	17.0
大腿长	47.0	44.0
小腿长	37.0	35.0
足 高	7.0	6.5
足 长	25.0	23.0

四、体表面积

体表面积难以直接测量,但这是一项与代谢有关的重要体格测量参数,根据 Fujimoti, Tsuyuki 公式^[17]由各代表年龄组的身高、体重参考值计算了男、女各代表年龄的体表面积参考值,表 2.17。

计算公式:

$$\text{年龄为 0: } A = W^{0.473} \times H^{0.655} \times 95.68$$

$$\text{年龄 1~5 } A = W^{0.423} \times H^{0.362} \times 381.89$$

$$\text{年龄 6 岁以上 } A = W^{0.444} \times H^{0.683} \times 88.83$$

式中, A 为体表面积(cm^2); W 为体重(kg); H 为身高(cm)。

表 2.17 根据身高、体重参考值计算的体表面积参考值(cm^2)

年龄, 岁	男			女		
	W	H	A	W	H	A
0	3.4	50.5	2230	3.3	50.0	2180
1	10.5	78.0	5000	10.0	77.0	4870
5	19.0	111.0	7300	18.0	110.0	7110
10	32.0	139.0	12040	32.0	140.0	12100
15	55.0	168.0	17430	50.0	158.0	16020
20~50	60.0	170.0	18260	52.0	158.0	16300

五、体脂和瘦体重

通常认为人体的脂肪是过剩能量的储存形式,在生理功能活性上是相对惰性的部分,瘦体重是基本生理功能的活性部分,所以瘦体重是重要的参考人参数。

1. 体脂和瘦体重的估算方法

体脂重量通常是用实测的皮褶厚度,按 Nagamine 经验公式和 Brozek 公式^[12]计算体脂占体重的百分数($F\%$),由 $F\%$ 乘以体重算出体脂重量,并由体重减体脂重量得出瘦体重。

Nagamine 经验公式

$$9\sim 11 \text{ 岁 } \quad \text{男 } D=1.0879-0.00151X \quad \text{女 } D=1.0794-0.00142X$$

$$12\sim 14 \text{ 岁 } \quad \text{男 } D=1.0868-0.00133X \quad \text{女 } D=1.0888-0.00153X$$

$$15\sim 18 \text{ 岁 } \quad \text{男 } D=1.0977-0.00146X \quad \text{女 } D=1.0931-0.00160X$$

$$\text{成人} \quad \text{男 } D=1.0913-0.00116X \quad \text{女 } D=1.0897-0.00133X$$

D ——身体密度 X ——上臂和背肩胛下角的皮褶厚度(mm)

Brozek 公式: $F\% = 4.570/D - 4.142$, $F\%$ 为体脂占体重的比例($\%$)

2. 中国人 10 岁,15 岁和成人男女的皮褶厚度和据此估算的 $F\%$,体脂重量和瘦体重值

皮褶厚度测量的数据不多,根据甘肃和北京 1985 年的测量资料^[21,22]和体重参考值估算了 10 岁,15 岁和成年人男女的体脂和瘦体重值,结果列入表 2.18。

表 2.18 皮褶厚度测量值和体脂比例,体脂重量和瘦体重的计算值

年龄	男				女			
	皮褶厚,mm	F%	体脂重量,kg	瘦体重,kg	皮褶厚,mm	F%	体脂重量,kg	瘦体重,kg
10岁	13.3	13.7	4.4	27.6	15.5	18.0	5.8	26.2
15岁	16.0	11.2	6.2	48.8	28.1	21.0	10.5	40.0
成人	17.3	12.4	7.5	52.5	32.8	22.7	11.8	40.2

(王继先 李本孝)

参 考 文 献

- 1 首都儿科研究所. 九市儿童体格发育调查协作组. 1985年九市城郊7岁以下儿童体格发育的研究. 中华医学杂志, 1987,67:423
- 2 10省农村儿童体格发育调查协作组. 1985年10省农村7岁以下儿童体格发育调查研究. 中国10省农村7岁以下儿童体格发育调查资料, 1987
- 3 中国学生体质与健康研究组. 中国学生体质与健康研究. 北京:人民教育出版社, 1987
- 4 中华人民共和国国家标准. 中国成年人人体尺寸. GB 10000-8. 北京:中国标准出版社, 1989
- 5 中国学生体质与健康研究组. '95中国学生体质与健康调研报告. 吉林:科学技术出版社, 1996
- 6 首都儿科研究所. 九市儿童体格发育调查协作组. 1995年九市城郊七岁以下儿童体格发育的调查. 中华医学杂志, 1998,78(3):187
- 7 9市儿童和少年体格发育调查协作组, 中国医学科学院儿科研究所. 新中国儿童和少年体格发育调查研究. 中华医学杂志, 1977,57:720
- 8 国家体委, 教育部, 卫生部中国青少年体质研究组, 16省市青少年体质研究组. 中国青少年儿童身体形态、机能与素质研究. 北京:科学技术文献出版社, 1982
- 9 北京学生体质与健康研究组. 近半个世纪来北京市学生生长发育动向研究调查及其影响因素分析. 见:中国学生体质与健康调查组. 中国学生体质与健康研究. 北京:人民教育出版社, 1987. 788~817
- 10 张振标. 现代中国人体质特征及其类型的分析. 人类学学报, 1988,7(4):314
- 11 国家统计局. 1987年中国社会统计. 北京:中国统计出版社, 1988
- 12 首都儿童研究所. 中国9市7~18岁儿童青少年体格发育的长期趋势. 中国9市儿童青少年体格发育调查研究资料汇编. 1985,279~288
- 13 中国学生体质与健康调查组. 16省(市)省会汉族学生, 1979~1985年身体形态、机能与素质分析. 见:中国学生体质与健康调查组. 中国学生体质与健康研究. 北京:人民教育出版社, 1987,186~238
- 14 Kawamura H. Physical measurement of normal Japanese. Report of project formulation meeting; CRP. compilation of anatomical, physiological and metabolic characteristics for Reference Asian Man Mito City, Japan 17~21, October 1988 Annex 13
- 15 ICRP. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides; Part 1. ICRP publication 56. Oxford: Pergamon Press, 1990. 20
- 16 王继先, 李本孝, 徐钧等. 中国人身高、体重参考值. 中华放射医学与防护杂志, 1993,12(1):3
- 17 Tanaka G. Reference Japanese VOL. 1 Anatomical Data NIRS-M-85. NIRS, Chiba, Japan, 1992
- 18 Tanaka G, Kawamura H. Anatomical and physiological characteristics for Asian Reference Man. NIRS-M-115. NIRS, 1996
- 19 ICRP. ICRP publication 23. Report of the Task Group on Reference Man. Oxford: Pergamon Press, 1975
- 20 ICRP. ICRP publication 70. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection; the skeleton. Oxford: Pergamon Press, 1995,12~13

-
- 21 北京市大学生体质与健康调研组. 北京市大学生皮褶厚度测量及其身体组成的估量. 见: 中国学生体质与健康调查组. 中国学生体质与健康研究. 北京: 人民教育出版社, 1987, 871~880
 - 22 陕西省汉中地区学生体质与健康调研组. 中小学生青春期身体成分变化规律和特点的初步分析. 见: 中国学生体质与健康调查组. 中国学生体质与健康研究. 北京: 人民教育出版社, 1987, 741~761

第三章 中国人主要器官重量参考值

器官重量是重要的解剖参数。以前我国虽有一些关于器官重量的报道,但由于在对象的选择,年龄的构成,地区分布等方面的局限性至今尚未形成代表中国正常人的男、女各年龄组的系统资料,所以在辐射防护实践中仍沿用ICRP参考人数据。而中国人在种族、体格、饮食和生活习惯等方面与西欧、北美人都有明显的差异,在器官重量方面也必然有所不同。为使得内、外照射剂量的估算和次级标准的制订更为确切,符合国人的实际,继推荐了身高、体重参考值后,本章重点讨论中国人的主要器官重量参考值的推荐。

一、资料来源

资料主要来自全国各主要医学院校解剖教研室和病理教研室、法医研究所及医院病理科的尸解记录,在广泛地调研和评价这些资料后,根据参考值应是来自正常健康人并代表正常健康人这一原则,选用了如下资料作为基础数据的来源。

(1)我国成年人的某些生理参数^[1] 是中国辐射防护研究院张英珊等为推荐参考人而从全国17个省、直辖市、自治区的33所医学院校和医院的68251例尸解记录中选用的4070例成年(18~55岁)急死者的器官重量资料。

(2)我国成年人脏器正常重量的统计分析^[2] 是由广西医学院牵头,为提供国人男、女各年龄组器官重量正常值而组织全国15所医学院校和医院的病理科按统一的标准选择登记的19976例正常器官统计资料。

(3)1980例小儿器官重量及大小测量的研究^[3] 是由首都儿科研究所和北京儿童医院病理科,为探索小儿时期各器官重量的正常值而进行的研究。

(4)我国某些地区小儿甲状腺的重量^[4] 由中国辐射防护研究院张英珊等收集四川、北京、广东三个地区医学院校和医院病理科登记的从新生儿到17岁4039例甲状腺重量资料。

为推荐参考值的需要,我们与上述工作的作者拟订了选用尸体和器官的审定标准,并组成选审专家小组对上述资料逐例逐个器官作了再选审,以保证用于统计分析器官是发育正常的急死病例的正常器官。审选的标准是:①被选用者必须是发育正常,无先天性畸形和后天性发育不良性疾病,如骨骼畸形,侏儒症,小儿麻痹后遗症,严重营养不良症等;②被选用者应是急死病例,即在死亡前短期内是健康人,无慢性疾病,如肾炎、肝硬化、肺结核、心脏病、贫血、恶性肿瘤、长期发烧或低热等;③尸体无死后腐败,一般是在死后24h内解剖者;④非妊娠或哺乳等特殊生理状态;⑤在已选用例中如发现器官有下列任一病理变化者该器官予以剔除,如炎症、贫血、脂肪变、肿大或萎缩、赘生物或肿瘤。

按此标准从上述资料中共选出8273例,男5545例,女2728例。覆盖全国绝大部分地区,从出生到80岁男、女的12个器官(心、肝、脾、肺、肾、脑、胰、甲状腺、肾上腺、胸腺、脑垂体和睾丸),将其重量资料合并,按男、女分16个年龄组分别进行统计分析。为获得长期增长趋势,将1970年前、后的资料分别统计比较。

二、中国人主要器官的重量

1. 器官重量随年龄的变化

表 3.1 列出男、女 16 个年龄组 9 个器官的重量均值和标准差。图 3.1 至图 3.9 是采用三次样条近似函数绘制的男、女 9 个器官的增长曲线。由图表可见,绝大多数器官都有一个快速增长期,高坪期和高龄后重量下降。但各个器官的上述变化出现的早晚和持续的时间长短不同。如脑增重最早,持续时间也最短,3 岁时增重减缓,女 10 岁时,男 15 岁时已达高坪期。肾上腺重量出生后略有下降,3 岁后始复回升,15 岁达高坪。脾、甲状腺增重也较快,15~20 岁达高坪期,但其重量降低出现也较早,40 岁已有所下降。其它器官如心、肺、肝、肾、胰等均在 20 岁后达高坪期,除心、肺在 50 岁后重量仍呈缓慢上升趋势外,其它器官重量皆于 50 岁后出现降低。胸腺、脑垂体、性腺的资料较少,仅能提供成年组重量,胸腺重量男女分别为 30 g 和 27 g。脑垂体男为 0.7 g,女为 0.8 g。睾丸重 40 g。

2. 性别差异

出生时男女各个器官的重量基本一致,出生后除肾上腺外各个器官均迅速增重,2~4 岁男性增重快于女性。由于女性发育较早,青春期出现早,10 岁后女性器官增重较快,男女器官重量差距缩小,甚至在个别年龄点女性器官重量大于男性。男性青春期开始较晚持续时间较长,12 岁后器官增重加快,15 岁时男女器官重量差距再次拉开,17、18 岁后男女器官重量出现明显差异。女性在高龄后器官减重出现较早。成年时除脑垂体女重于男外,所有器官重量男性均大于女性。

3. 器官重量的长期增长趋势

1970 年后尸解资料与 1970 年前尸解资料比较表明,几个主要器官的重量在 1970 年后比 1970 年前均有所增重,但增重的程度及在各年龄组的分布不尽相同。反映了社会经济的发展,人民生活水平的提高对人体生长发育的影响^[5]。

三、中国人器官重量参考值

如同推荐中国人身高、体重参考值一样^[6],在推荐针对公众的器官重量参考值时充分考虑了资料的代表性,根据器官重量增长的年龄阶段性,性别差异,器官重量的长期趋势和使用方便等原则,并按以下程序推荐了主要器官重量的参考值^[7]。

1) 根据表 3.1 男、女各年龄组器官重量的均值,使用 STATA 软件包三次样条近似函数方法绘制平滑的器官重量的增长曲线。内插曲线求出各代表年龄的主要器官重量值,并用以作为推荐参考值的基数。

2) 将资料按尸检时间 1970 年前和 1970 年后(含 1970 年)分别统计,计算男、女各代表年龄组 1970 年后比 1970 年前的器官重量增值,作为器官重量长期增长趋势调整的依据。

3) 由内插增长曲线所得各代表年龄的器官重量基数加 1970 年后的器官重量增值,再取整数,作为推荐的器官重量参考值(表 3.2)。

4) 用器官重量与体重的回归方程计算参考体重下(成人:男 60kg,女 52kg)的各器官重量预期值,并与推荐的参考值比较以证明其合理性。

表 3.2 中国人器官重量(g)参考值的确定

性 别	年 龄、 岁	脑			心			肺			胰			肝			肾			脾		
		内插值	增值	参考值	内插值	增值	参考值	内插值	增值	参考值	内插值	增值	参考值	内插值	增值	参考值	内插值	增值	参考值	内插值	增值	参考值
男	0	390	0	390	22	2	25	61	3	65	4	0	5	115	0	115	28	1	30	12	1	13
	1	910	92	1000	48	4	50	165	42	210	15	4	20	290	62	350	65	14	80	35	15	50
	5	1235	15	1250	84	2	90	305	51	360	37	4	40	540	48	590	105	8	110	63	4	70
	10	1395	0	1400	119	25	145	435	146	580	47	2	50	750	22	770	142	21	160	92	4	100
	15	1425	57	1480	207	37	240	765	170	940	72	21	90	1075	92	1170	215	21	240	134	5	140
	20~50	1433	22	1460	301	23	325	1065	188	1250	108	10	120	1356	56	1410	279	12	290	166	1	165
女	0	387	0	390	22	3	25	57	4	60	4	1	5	113	3	115	28	2	30	11	1	12
	1	870	25	900	43	3	50	155	17	170	14	3	20	280	28	310	62	4	70	34	4	40
	5	1137	0	1140	82	0	80	300	60	360	35	4	40	530	26	560	107	17	120	63	8	70
	10	1285	25	1310	112	5	120	385	80	470	47	0	50	720	0	720	138	12	150	83	15	100
	15	1305	58	1360	190	5	200	630	0	630	72	0	70	1040	11	1050	208	8	220	117	0	120
	20~50	1304	27	1330	267	19	290	842	120	960	98	4	100	1273	18	1290	260	0	260	142	9	150

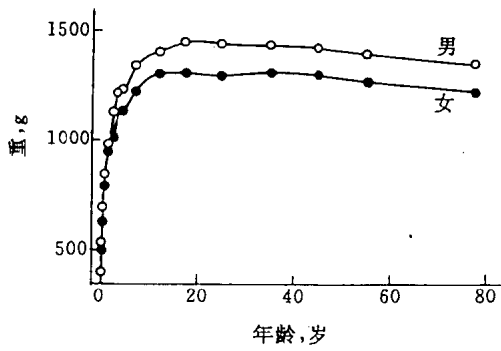


图 3.1 脑重随年龄的变化

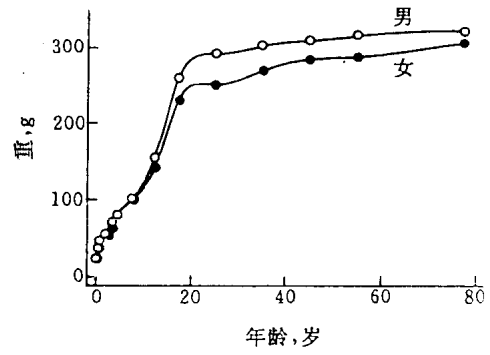


图 3.2 心脏重随年龄的变化

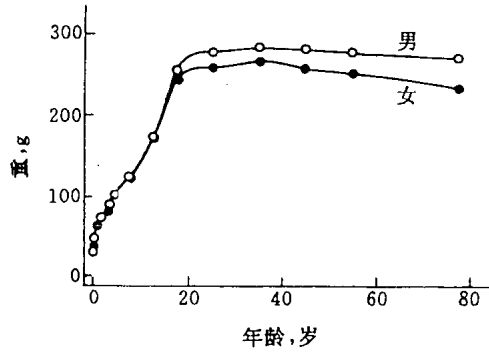


图 3.3 肾脏重随年龄的变化

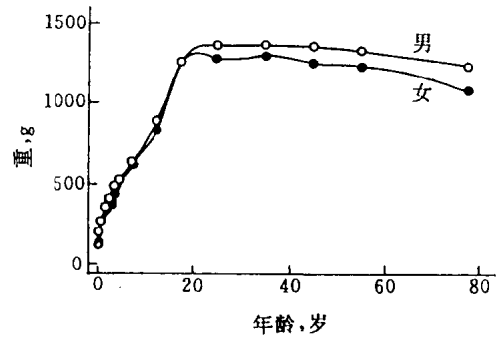


图 3.4 肝脏重随年龄的变化

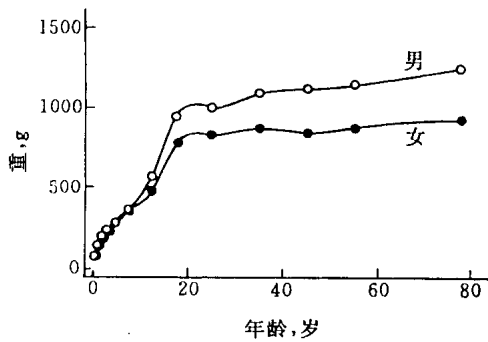


图 3.5 肺脏重随年龄的变化

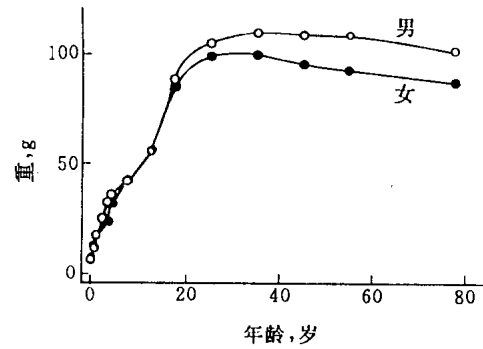


图 3.6 胰脏重随年龄的变化

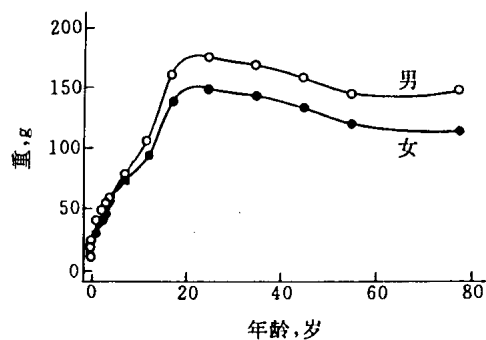


图 3.7 脾脏重随年龄的变化

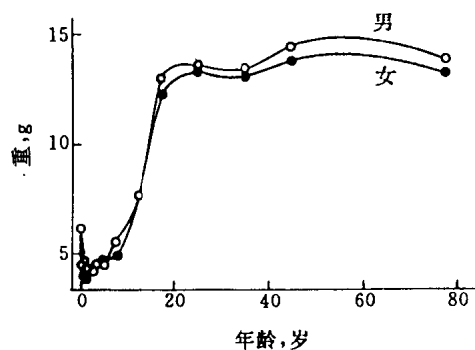


图 3.8 肾上腺重随年龄的变化

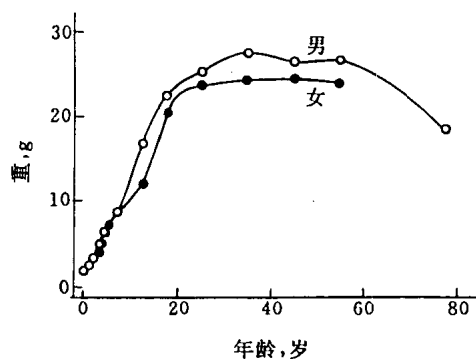


图 3.9 甲状腺重随年龄的变化

表 3.3a 推荐的中国成年人器官重量参考值与由回归方程计算的预期值的比较(g)

器官	男				女			
	推荐 参考值	计算 预期值	相差 值	%	推荐 参考值	计算 预期值	相差 值	%
脑	1460	1453	7	0.5	1330	1320	10	0.8
心	325	320	5	1.5	290	270	20	6.8
肾	290	289	1	0.3	260	253	7	2.7
肝	1410	1411	1	0.1	1290	1270	20	1.6
肺	1250	1216	34	2.7	960	935	25	2.6
胰	120	116	4	3.0	100	100	0	
脾	165	155	10	6.1	150	152	-2	1.3

器官重量(Y)与体重(X)的回归方程为 $Y = \alpha + \beta X$ 。各器官的 α 值和 β 值见表 3.3b。

表 3.3b 中国成年人器官与体重的回归方程中 α 项和 β 项值

器 官	男		女	
	α	β	α	β
脑	1408.43	0.74	1229.52	1.73
心	108.57	3.53	147.10	2.36
肾	163.50	2.09	177.00	1.46
肝	873.98	8.95	835.91	8.35
肺	856.19	6.00	632.81	5.82
胰	80.01	0.60	16.42	1.60
脾	118.39	0.61	147.24	0.10

由表 3.3a 可见,除男性脾脏,女性心脏参考值与预期值相差分别为 6.1% 和 6.8% 外,其它各器官两者非常接近,证明所推荐的器官重量参考值与体重参考值的符合性和合理性。

四、中国人器官重量参考值与日本参考人和 ICRP 参考人器官重量的比较

表 3.4 中国成年人器官重量参考值与日本和 ICRP 参考人器官重量的比较

器官	中 国				日 本				ICRP			
	男		女		男		女		男		女	
	重量,g	%*	重量,g	%*	重量,g	%*	重量,g	%*	重量,g	%*	重量,g	%*
脑	1460	2.43	1330	2.56	1469	2.39	1331	2.58	1400	2.00	1200	2.07
心	325	0.54	290	0.56	362	0.59	306	0.59	330	0.47	240	0.41
肾	290	0.48	260	0.52	318	0.52	278	0.54	310	0.44	275	0.46
肝	1410	2.35	1290	2.48	1585	2.52	1358	2.64	1800	2.57	1400	2.33
肺	1250	2.08	960	1.85	1151	1.87	860	1.67	1000	1.43	800	1.33
胰	120	0.20	100	0.19	129	0.21	109	0.21	100	0.14	85	0.14
脾	165	0.28	150	0.29	141	0.23	128	0.23	180	0.26	150	0.25
肾上腺	14	0.02	13	0.03	14	0.02	12.5	0.02	14	0.02	14	0.02
脑垂体	0.7	0.0012	0.8	0.0015	0.6	0.0009	0.6	0.0012	0.6	0.0009	0.7	0.0012
睾丸	40	0.07	—	—	37	0.06	—	—	35	0.05	—	—
胸腺	30	0.05	27	0.05	31	0.05	29.6	0.06	20	0.03	20	0.03
甲状腺	26	0.04	24	0.05	19	0.03	16.9	0.03	20	0.03	17	0.03
体 重	60000	100.00	52000	100.00	61500	100.00	51500	100.00	70000	100.00	60000	100.00

* 占体重的百分数。

表 3.4 示中国成年人器官重量参考值与日本参考人^[8]和 ICRP 参考人^[9]器官重量的比较。中国人肝脏重量明显低于日本和 ICRP 参考人,男性分别轻 175g 和 390g,女性分别轻 68g 和 110g。但肺、甲状腺和脑垂体的重量都重于日本和 ICRP 参考人。其它器官如脑、胰、睾丸中、日比较接近,但都重于 ICRP 参考人。按相对重量(占体重的百分数)计,国人脑占第一位,而日本和 ICRP 参考人皆是肝为第一位,脑为第二位。心、肾、脾重量则与 ICRP 参考人相似,心、肾轻于日本参考值,脾则重于日本参考值。肾上腺三者之间极为相似。另一特点是中国人多数器官(如脑、心、肾、肝、胰)的重量男、女之间的差别小于日本和 ICRP 参考人。如心脏重量中国人

男、女相差为 35g,而日本和 ICRP 参考人男、女之差分别为 56g 和 90g。又如肝脏重量中国人男、女之差为 120g,而日本和 ICRP 参考人男、女之差分别为 227 g 和 400 g。器官重量的这些差别必然对内照射剂量的估算产生影响,说明建立中国参考人的必要性。

(王继先)

参 考 文 献

- 1 张英珊等.我国成年人的某些生理参数.中国核学会辐射防护学会第一次学术会议、学术交流会议论文选编.北京:原子能出版社,1982,32
- 2 全国脏器重量协作组.我国脏器正常重量的统计分析.中华病理学杂志,1988,17(2):111
- 3 首都儿科研究所病理室等.1980例小儿脏器重量及大小测量的研究.中华病理学杂志,1984,13(1):59
- 4 张英珊,王兆兰等.我国某些地区小儿甲状腺的质量.辐射防护,1987,7(5):367
- 5 Tanaka G. Anatomical and Physical Characteristics for Asian Reference Man-A Proposal-NIRS-M-95. 1993
- 6 王继先,李本孝,徐钧等.中国人身高、体重参考值.中华放射医学与防护杂志,1993,13(1):3
- 7 王继先,李本孝,陈如松等.中国人主要器官重量参考值.中华放射医学与防护杂志,1995,15(4):248~254
- 8 Tanaka G. Reference Japanese Vol. 1, Anatomical Data NIRS-M-85, 1992
- 9 ICRP. ICRP publication 23. Report of the Task Group on Reference Man. Oxford: Pergamon Press, 1975

第四章 中国人主要器官的位置和大小

器官的位置和大小是重要的解剖参数,是内照射的剂量估算中不可缺少的数据。在几种传统的器官大小的测量方法中,B超是一种快速、准确、方便的活体无损测量方法。近些年来陆续有些用B超测量器官大小的报道。1983年中华医学会超声诊断专题学术会议通过了“人体脏器超声显像探测法和正常值标准(草案)”大大推动了该项工作。为提供中国人器官位置和大小参考数据,我们广泛地收集了1980年以来我国正常人各器官B超测量资料100余篇,并对收集到的资料就其目的、研究对象、使用仪器、测量方法、数据处理和结果等进行分析评价,在此基础上选出了近40篇科学性强、代表性好的资料进行整理分析。这些资料包括胚胎、新生儿、儿童、青少年、成年人和老年人约14216人(男6868人,女7348人),覆盖了全国大部分地区,11个器官(甲状腺、肝、胆、脾、胰、肾、肾上腺、子宫、卵巢、前列腺、睾丸)的资料。因各器官大小的测量值并非来自同一个体,加之资料在年龄构成和地区分布等方面的局限性,目前尚难推荐有代表性的参考值,只能给出测量的统计值,供使用时参考。

一、甲 状 腺

1. 甲状腺的位置及其毗邻关系

甲状腺呈“H”状或蝶形,是距体表仅1~1.5cm的浅表器官。甲状腺位于颈前下方,气管的前方,喉的两侧,平第5,6,7颈椎,可分为左右两叶和连接两叶的峡部。右叶较左叶略大,30%~50%的人还有从峡部(或一叶或两叶)向上伸出的锥状叶,这是胚胎时期甲状舌管的遗迹。甲状腺重量随年龄不一,新生儿大约1.5g,10岁约10~12g,15~19岁增至14.2g,成年人15~30g。

甲状腺的位置高低变化较多,一般腺体中心距胸骨上窝5cm,两叶上端达甲状软骨板中部。甲状腺的浅面(外侧面)形凸,遮以皮肤、皮下组织、颈筋膜、舌骨下肌群以及胸锁乳突肌,气管前筋膜等;甲状腺的深面(内侧面)依次有:甲状软骨、环状软骨、气管、咽下缩肌、食管、甲状腺上下动脉及喉返神经等。甲状腺前缘较薄,后缘较厚,掩盖颈总动脉,且常掩盖甲状旁腺。

甲状腺与周围组织的解剖关系见图4.1^[1]。

2. 甲状腺的大小

甲状腺是人体重要的内分泌腺,其生理功能是调节人体新陈代谢,促进生长发

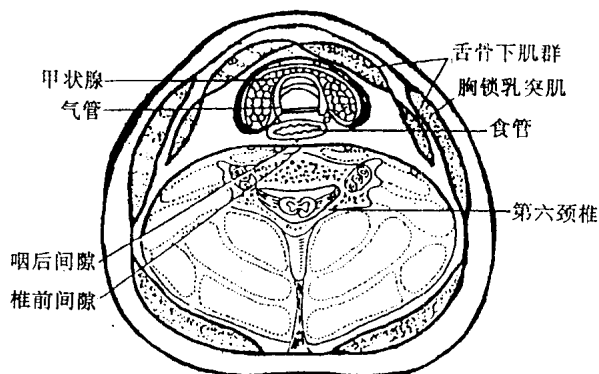


图4.1 甲状腺与周围组织的解剖关系
(通过第六颈椎的横断面)

育,因此其大小随不同年龄和生理状态及碘的摄入量而变化较大,儿童时期较小,青春发育期迅速增大,成年阶段相对稳定,进入老年后又开始缩小。成人每侧叶甲状腺长约 4~7cm,宽 1.5~2.5cm,厚 1~2cm,峡部前后径如不增大,应小于 0.5cm,可忽略不计。成人甲状腺可用每侧叶长、宽、厚来表示,也可以用体积表示;儿童甲状腺较小,通常以体积表示。体积的计算公式为: $V=0.479abc/1000$, V 为每侧叶甲状腺体积,单位为毫升(ml), abc 分别为每侧叶的长、宽和厚,单位为毫米(mm),0.479 为校正因子,左右两侧叶甲状腺体积之和为总体积。表 4.1 列出了不同年龄段与不同性别正常甲状腺体积测量值。

从表 4.1 可以看出:不论男孩女孩,甲状腺体积均随年龄增大而增大,7~10 岁组增大缓慢;10 岁以后甲状腺体积迅速增大,17~18 岁时基本达成人水平;在同一年龄组内,男女甲状腺体积也有各自的特点,7~10 岁时男女差别不大,11~13 岁时女性略大于男性,表明青春发育后,女孩较男孩甲状腺增大的速度更快,14~18 岁男性又大于女性。

表 4.1 不同年龄、不同性别正常甲状腺体积测量值(ml)^[2~4]

年龄,岁	男性($\bar{x}\pm s$)	例数	女性($\bar{x}\pm s$)	例数
7	3.01±0.88	(166)	2.79±0.75	(160)
8	3.36±0.93	(166)	3.35±0.88	(160)
9	4.0±1.22	(177)	3.88±1.35	(176)
10	3.96±1.23	(161)	4.14±1.38	(150)
11	5.29±1.62	(158)	5.36±1.80	(159)
12	6.44±1.90	(162)	6.78±2.03	(152)
13	7.24±2.29	(170)	7.48±2.26	(150)
14	8.05±2.24	(155)	7.99±2.42	(151)
15	10.38±1.09	(8)	9.34±1.06	(8)
16	12.05±0.91	(8)	10.67±0.82	(8)
17	13.20±0.96	(8)	11.50±1.21	(8)
18	14.15±1.13	(8)	12.17±1.49	(8)
成年人	14.35±2.38	(?)	12.47±1.85	(?)

成年人甲状腺每侧叶的测定值见表 4.2,男性测量值均大于女性,分别为男(14.35±2.38)ml,女(12.47±1.85)ml。

甲状腺大小与身高体重呈正相关,身高与体重大者,其甲状腺体积也大。详见表 4.3 和表 4.4。

表 4.2 成年人正常甲状腺的 B 超测量值(cm)^[1]

项目		性别	均值	$\bar{x}$	s	95%可信限范围
右叶	前后径	男	1.61	0.21	0.02	1.20~2.02
		女	1.56	0.18	0.02	1.21~1.91
	左右径	男	1.80	0.24	0.02	1.33~2.27

(续表)					
项目	性别	均值	$\bar{x}$	s	95%可信限范围
左叶	女	1.74	0.02	0.02	1.35~2.13
	男	5.63	0.75	0.06	4.16~7.10
	女	5.21	0.70	0.07	3.84~6.58
	男	1.53	0.21	0.02	1.12~1.94
	女	1.46	0.19	0.02	1.19~1.83
	男	1.75	0.23	0.02	1.30~2.20
	女	1.67	0.21	0.02	1.26~2.08
	男	5.25	0.74	0.06	3.80~6.70
	女	4.88	0.55	0.05	3.80~5.96
	男	0.39	0.09	0.01	0.21~0.57
峡部	女	0.39	0.08	0.01	0.23~0.55
	男	1.79	0.18	0.02	1.44~2.14
	女	1.53	0.15	0.01	1.24~1.82

表 4.3 甲状腺体积(ml)与身高(cm)的关系

身高,cm	例数	体积($\bar{x}\pm s$)
110~	60	3.51±0.86
120~	165	3.83±0.93
130~	223	4.64±1.39
140~	216	6.18±1.77
150~	185	8.68±1.66
160~	87	9.89±1.91
170~	13	13.34±1.43

表 4.4 甲状腺体积(ml)与体重(kg)的关系

体重,kg	例数	体积($\bar{x}\pm s$)
18~	114	3.64±0.94
23~	226	4.04±1.06
28~	162	5.24±1.48
33~	155	6.35±1.73
38~	115	6.90±2.18
43~	71	8.50±1.52
48~	67	9.53±2.22
53~	27	11.75±1.31
58~	8	12.92±1.24
63~	4	14.27±1.62

影响甲状腺大小的因素很多,比如:性别、年龄、身高、体重、不同的生理状态及碘摄入量等,关于性别、年龄、身高、体重等与甲状腺体积的关系前面已经讨论过,应该指出的是,在三种特殊的状态下,往往女性的甲状腺相对较大,即青春发育期、妊娠期和哺乳期,这三种特殊的生理情况下,女性的代谢比较旺盛,所以甲状腺体积相对较大。另外,因甲状腺是浓聚碘的器官,全身碘总量的70%浓聚于甲状腺,用于合成甲状腺激素,因此当环境缺碘,碘摄入量不足时,甲状腺便代偿性增生、肿大,其体积大于正常,形成缺碘性(地方性)甲状腺肿。

二、肝 脏

1. 肝脏的位置及其毗邻关系

肝脏是人体中最大的实质器官,外表呈楔形。根据肝脏的表面标志,肝脏可分为左右两叶,右叶大而且厚,左叶小而且薄。肝脏占据腹腔的右上部,隐匿在右侧的膈肌下和右季肋部,只有小部分在左季肋部。肝脏的体表投影是:顶部与膈肌相接触,约相当于右锁骨中线第5前肋的上缘,经胸骨延至左侧锁骨中线的第5前肋。下界与右季肋缘相齐,起自右侧腋中线第11肋,沿右侧肋弓下缘,至右侧第8、9肋软骨结合处离开肋弓,斜向左上方,经左侧第7、8肋软骨结合处,连上界左端。肝的下界在前正中线,突出剑突下方约3cm。小儿的肝下缘比成年人约低2~3cm,所以成年人,除在上腹部可触及肝的一部分外,在肋弓下一般不应触到肝脏。肝的后面与第9、第10胸椎相对。

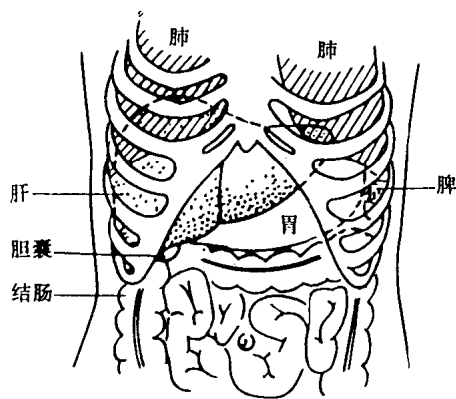


图 4.2 肝脏的体表投影

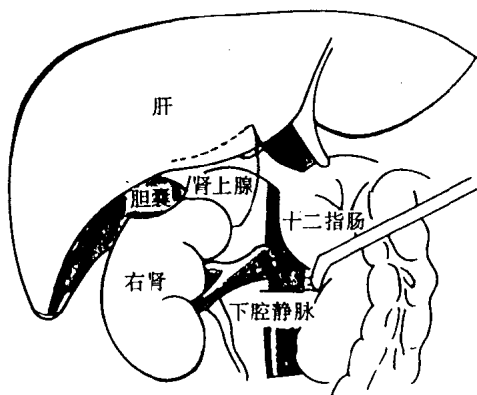


图 4.3 肝、胆、右肾及右肾上腺的毗邻关系

肝的位置可随呼吸、内脏活动及体位的不同,而产生一定范围的改变。站立及吸气时稍有下降,仰位和呼气时稍上升。

肝脏的上表面是与横膈及腹壁接触的部分,是光滑而且规则的,称之为膈面,与心脏及肺紧密相接,仅由横膈将其分开,有部分的肝脏被肋骨及肺组织所遮盖;肝脏的下面为脏面,凹陷不平,有H形的两条纵沟和一条横沟,右纵沟前部为胆囊窝,容纳胆囊,后部有下腔静脉窝(称第2肝门),有三支肝静脉在此注入下腔静脉;左纵沟前部有肝圆韧带;横沟为肝门(亦称第1肝门),长约5cm,有门静脉、肝管、肝动脉等通过。很多器官与肝脏的脏面紧密相贴,并在肝脏

上产生压迹。在肝左叶的后面,大部分的脏面与胃相接触;十二指肠横越肝门;胆囊位于胆囊窝内,并从肝门的右侧,延伸至肝脏的下界;右肾及右肾上腺位于肝右叶后的脏面;结肠肝曲及横结肠位于脏面的远端部分,紧靠肝脏的下界。

肝脏的体表投影及大致解剖关系见图 4.2 和图 4.3^[5]。

2. 肝脏的大小

肝脏的大小随年龄而有较大变化。胎儿和新生儿的肝脏相对较大,其体积可占腹腔容积的 1/2 以上,25~50 岁肝体积最大。超声一般测量如下四个径线:

(1)肝右叶最大斜径:正常不超过 10~14cm

(2)右叶厚径:8~10cm

(3)左叶长径:5~9cm

(4)左叶厚径:5~8cm

一般来说,男性各径线测量值均大于女性,判断时应考虑性别差异,详细数值见表 4.5。

表 4.5 成年人和老年人正常肝脏大小 B 超测量值(cm)^[6,7]

径 线		男 性		女 性	
		$\bar{x} \pm s(n)$	范围	$\bar{x} \pm s(n)$	范围
成年	右叶斜径	12.34±1.11(394)	10.17~14.52	11.56±1.06(697)	9.48~13.64
	右叶厚径	8.58±0.96(100)	6.70~10.47	7.80±1.07(100)	5.90~10.09
	左叶长径	6.81±1.21(396)	4.44~9.17	6.74±1.03(704)	4.72~8.77
	左叶厚径	6.51±1.04(396)	4.48~8.55	5.98±0.98(704)	4.07~7.90
老年	右叶斜径	9.33±1.23(85)	6.92~11.74	8.60±0.96(26)	6.72~10.48
	右叶厚径	8.44±1.43(85)	5.64~11.24	7.79±0.94(26)	5.95~9.63
	左叶长径	4.66±1.16(85)	2.37~6.93	4.71±1.03(26)	2.69~6.73

从表 4.5 可以看出:①不论成年组还是老年组,除左叶长径男女间差异不明显外,其它各径线男性均大于女性,表明男女肝脏大小有别;②老年肝脏的右叶斜径和左叶长径均明显小于成年组,右叶厚径与成年组基本一致,这说明老年人肝脏的长和宽均明显缩小,厚径保持不变,可能是因为老年人比较肥胖,脂肪沉积所致。

表 4.6 新生儿正常肝脏各径线 B 超测量值(cm)^[8]

出生体重, g	例数	肝右斜径		肝左叶前后径	
		$\bar{x} \pm s$	范围	$\bar{x} \pm s$	范围
1500~	18	4.72±0.41	4.31~5.13	3.25±0.37	2.88~3.62
2500~	116	5.27±0.50	4.77~5.77	3.52±0.45	3.07~3.97
3000~	427	5.61±0.56	5.05~6.17	3.64±0.41	3.23~4.05
3500~	440	5.73±0.59	5.14~6.32	3.74±0.48	3.26~4.22
4000~	110	5.99±0.53	5.46~6.52	3.86±0.42	3.14~4.28
4500~	17	6.18±0.41	5.77~6.59	4.05±0.42	3.63~4.47

表 4.6 为不同出生体重新生儿正常肝脏各径线 B 超测量值,新生儿出生体重越大,肝脏各径线测量值也越大,各径线大小与体重呈正相关。
(目前尚缺乏儿童、青少年肝脏大小的测量资料)

三、胆 囊

1. 胆囊的位置及其毗邻关系

胆囊为薄层的囊状器官,呈梨形,位于肝脏下面右纵沟前部的胆囊窝内,借疏松结缔组织附着于肝脏,故可与肝脏随呼吸上下移动。胆囊可划分为底、体、颈三部分。胆囊底部一般是游离的,在肝前缘胆囊切迹处露出,位置易变,在体表投影的大致位置是:右侧腹直肌外缘和右肋弓相交处,相当于第 9 肋软骨前端稍下方。但由于胆囊位置有时较深,甚至位于肝实质内,还可随肝的增大而下降,故胆囊底的表面投影常不十分恒定;胆囊体部的上面借结缔组织与肝连接;颈部屈曲延伸为胆囊管,被固定于肝右叶下的结缔组织中。胆囊的前面与外侧是肝右叶下面,内侧后方有十二指肠及胰头,下方自后向前是右肾上极和横结肠。

胆囊的位置及大致的解剖关系见图 4.2 和图 4.3。

2. 胆囊的大小

由于胆囊是储存和浓缩胆汁的薄壁中空性器官,因此其大小随不同功能状态而略有变化,空腹时因储存大量胆汁,其体积大于刚进餐后。胆囊松弛时(未排空时)的测量值一般长径为 7~10cm,横径为 3~4cm;其收缩时(排空后)长径在 5~7cm,横径在 2~3cm 左右。

表 4.7 不同年龄正常胆囊 B 超测量值(cm)^[5,9,10]

年龄组	例数	参数	男 性			女 性		
			纵径	横径	前后径	纵径	横径	前后径
新生儿	120	$\bar{x}\pm s$	1.46±0.43	0.62±0.18	—	1.29±0.41	0.51±0.17	—
(1个月)		范围	1.03~1.89	0.44~0.80		0.88~1.70	0.34~0.68	
儿 童	86	$\bar{x}\pm s$	4.66±1.08	1.82±0.45	1.68±0.40	4.54±1.06	1.78±0.45	1.60±0.35
(8~12岁)		范围	3.58~5.74	1.37~2.27	1.28~2.08	3.48~5.60	1.33~2.23	1.25~1.95
成年人	1858	$\bar{x}\pm s$	6.05±0.99	2.29±0.55	2.55±0.48	5.75±0.92	2.06±0.49	2.16±0.51
(18~60岁)		范围	5.05~7.03	1.74~2.84	2.07~3.03	4.83~6.67	1.57~2.55	1.65~2.67
老年人	111	$\bar{x}\pm s$	5.08±0.92	2.92±0.55	2.42±0.52	4.76±0.92	2.73±0.57	2.27±0.33
(>61岁)		范围	4.16~6.00	2.37~3.47	1.90~2.94	3.84~5.68	2.16~3.30	1.94~2.60

从表 4.7 可以看出:新生儿胆囊各径线男女有别,男性大于女性;而且新生儿胆囊的长径及横径明显小于儿童。

成人的胆囊各径线男性也大于女性,一般来说成人的胆囊长径 6~8cm,宽 2.5~3.5cm,厚 2~3cm,均认为属正常状态。

老年人因消化功能降低,胆囊有萎缩趋势,长径明显小于成年组,但宽径似乎大于成年组,

这与老年胆囊张力降低有关。

四、脾脏

1. 脾脏的位置及其毗邻关系

脾脏是人体中最大的淋巴器官和储血器官，呈长椭圆形，略似蚕豆，位于左季肋部后外侧，位置最深，属于腹膜腔内器官，正常时全被肋弓遮盖，不能扪及。脾分为膈、脏两面和前后两缘。膈面光滑隆起，紧贴膈肌与侧腹壁；脏面凹陷，近中央处为脾门，是神经和血管出入之处。脾脏的位置可因体位、呼吸等而有所改变，站立时比平卧时约低 2.5cm。

脾脏在腹腔内的周围关系是：下方与横结肠脾曲相邻，上方与膈肌相贴，右前方与胃相邻，后下方为左肾及左肾上腺，胰尾常抵达脾门或其附近。

脾脏的体表投影是：脾上极在腋中线相当于第 9 肋的高度，并距后正中左侧约 4~5cm 处；下极约在左腋前线第 11 肋处；其长轴与左侧第 10 肋平行。脾脏的大致解剖位置见图 4.4^[1]。

2. 脾脏的大小

正常脾脏大小随年龄及含血量多少而变化，个体差异较大。

表 4.8 为胎儿脾脏 B 超测量结果。孕 20 周以后，胎脾便明显可见。自妊娠 24 周以后的胎脾，脾门切迹、脾静脉、脾被膜等解剖学标志均清晰可辨，表 4.8 为从妊娠 24 周起的测量结果。

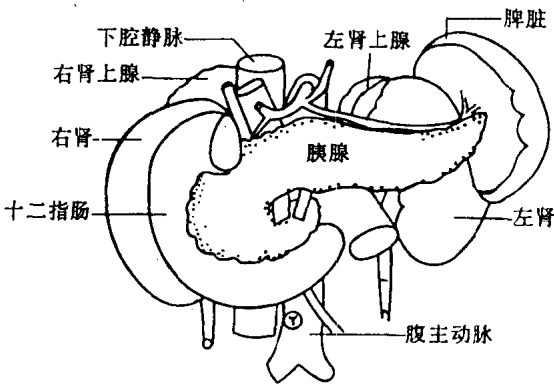


图 4.4 胰腺与周围毗邻关系模式图

表 4.8 不同孕龄胎儿正常脾脏 B 超测量值(cm)^[11]

孕龄,周	例数	参数	厚径	长径	周长	面积
24~	100	$\bar{x}\pm s$	1.35±0.17	3.56±0.26	9.75±0.57	3.93±0.84
		范围	1.02~1.68	3.05~4.07	8.63~10.87	2.28~5.58
29~	105	$\bar{x}\pm s$	1.64±0.17	3.91±0.39	10.89±0.80	5.22±0.71
		范围	1.31~1.97	3.15~4.64	9.31~12.46	3.83~6.61
33~	96	$\bar{x}\pm s$	1.71±0.13	4.13±0.40	12.13±0.96	6.16±0.84
		范围	1.46~1.96	3.35~4.91	10.25~14.01	4.51~7.81
37~	92	$\bar{x}\pm s$	1.85±0.16	4.61±0.36	12.63±0.73	7.07±0.77
		范围	1.54~2.16	3.89~5.30	11.20~14.06	5.56~8.58
41~	104	$\bar{x}\pm s$	1.95±0.17	4.85±0.42	12.95±1.09	7.48±1.08
		范围	1.63~2.28	4.03~5.67	10.81~15.08	5.36~9.60

表中数据显示:胎儿脾的厚径、长径、周长及面积均随年龄的增长而增大,与胎儿的生长发育是一致的,故目前认为以往被忽视的胎脾的测量,也是判断胎儿生长发育状况的良好指标,尤其在早期诊断胎儿血液系统及免疫系统疾病中有重要价值。

从表 4.9 可以看出,老年脾脏的最大长径和厚径均明显小于成年组。需要说明的是:

(1)脾脏的测量 其长径、宽径及其所计算的面积、体积均随测量体位而有变化,而且个体差异较大,而厚径测量值则较稳定,不随体位而有变化,所以厚径的测量最能反映脾的大小,一般来说,其平均值为 $(3.0 \pm 0.5)\text{cm}$,厚径 $>4.0\text{cm}$,视为脾肿大。

(2)该数据为右侧卧位之测量结果,与仰卧位测量结果略有差异 这是脾脏测量中常碰到的问题,所以在报告结果时,应该说明测量时的体位,以免误解。

表 4.9 成年人和老年人正常脾脏各径线 B 超测量值(cm)^[12]

径 线	男 性		女 性	
	$\bar{x} \pm s(n)$	范围	$\bar{x} \pm s(n)$	范围
成 最大长径	$8.99 \pm 1.05(148)$	7.94~10.04	$8.46 \pm 0.99(157)$	7.47~9.45
年 厚 径	$3.04 \pm 0.61(148)$	2.43~3.65	$2.92 \pm 0.51(157)$	2.41~3.4
老 最大长径	$7.71 \pm 1.13(85)$	6.58~8.84	$7.58 \pm 1.22(26)$	6.36~8.80
年 厚 径	$2.82 \pm 0.43(85)$	2.39~3.25	$2.86 \pm 0.46(26)$	2.40~3.26

五、胰 腺

1. 胰腺的位置及其毗邻关系

胰腺是一个无包膜的腹膜后器官,于正中线横跨第 1~2 腰椎的前方。胰腺细长,其长轴稍弯曲,横位于腹后壁,呈三棱柱形或长扁形。胰腺在前腹壁的表面投影:下缘约相当于脐上 5cm,上缘约相当于脐上 10cm 处。胰腺可分为胰头、胰体和胰尾三部分,胰头为整个胰腺最粗大的部分,位于脊柱中线的右侧,整个胰头埋在十二指肠曲内,紧贴在十二指肠壁上。胰头的上方是门静脉及肝动脉,前方及右侧方为肝脏,右前方为胆囊,后方为下腔静脉、胃十二指肠动脉及肝动脉第一支。胰体和胰尾位于正中线的左侧,胰体离腹壁最近,其前方有胃,斜后方为脾静脉。胰尾位于脾静脉的前方,再往后为左肾、左肾上腺,其左前方有胃,胰尾末端直达脾门。

胰腺的毗邻关系见图 4.4^[1]。

2. 胰腺的大小

胰腺的大小个体差异很大。一般来讲,测量胰腺的长和宽意义不大,而胰腺的厚径在正常时较为稳定,异常时变化也较为灵敏,所以通常以胰头、胰体、胰尾的厚度做为判断胰腺大小的标准。从表 4.10 可以看出:不同年龄儿童和青少年胰头、胰体和胰尾的厚径均随年龄逐渐增大,而且各年龄组男孩测量值均大于女孩,因此,在判断胰腺大小时,不仅要注意年龄变化,而且要考虑性别差异;成人胰腺的测量值男性也略大于女性。值得注意的是:老年人胰头、胰体、胰尾的厚度均明显小于成年组,这进一步证实了随年龄增大老年人胰腺萎缩变小的特点。1983 年 5 月通过的《胰腺超声显像探测方法及正常值标准》没有反映出老年人胰腺这方面的变化。

表 4.10 不同年龄正常胰腺 B 超测量值(mm)^[13~15]

年龄,岁	例数	参数	男 性			女 性		
			胰头	胰体	胰尾	胰头	胰体	胰尾
6~7	176	$\bar{x} \pm s$	14.40±1.20	8.27±1.47	8.20±1.75	14.10±1.20	8.19±1.06	8.01±1.78
		范围	13.20~15.60	6.80~9.74	6.45~9.95	12.90~15.30	7.13~9.25	6.23~9.79
8~10	437	$\bar{x} \pm s$	15.60±1.36	8.47±1.63	8.41±1.85	14.99±1.10	8.28±1.49	8.10±1.67
		范围	14.24~16.96	6.84~10.10	6.56~10.26	13.89~16.09	6.79~9.77	6.43~9.77
11~12	267	$\bar{x} \pm s$	16.0±3.77	9.84±1.94	8.95±1.87	15.90±1.83	9.38±1.51	8.69±1.34
		范围	12.23~19.77	7.90~11.78	7.08~10.82	14.07~17.73	7.87~10.89	7.35~10.03
13~14	302	$\bar{x} \pm s$	17.25±1.88	10.49±1.82	9.61±1.87	16.65±1.95	10.08±1.65	9.27±1.94
		范围	15.37~19.13	8.67~12.31	7.74~11.48	14.70~18.60	8.43~11.73	7.33~11.21
18~60	1201	$\bar{x} \pm s$	20.51±3.07	11.05±2.29	8.96±1.53	19.56±2.98	10.53±2.24	8.81±2.04
		范围	17.44~23.58	8.76~13.34	7.43~10.49	16.58~22.54	8.29~12.77	6.77~10.85
≥61	100	$\bar{x} \pm s$	13.0±2.80	9.60±2.50	9.20±2.50	13.0±2.80	9.60±2.50	9.20±2.50
		范围	10.20~15.80	7.10~12.10	6.70~11.70	10.20~15.80	7.10~12.10	6.70~11.70

六、肾 脏

1. 肾脏的位置及其毗邻关系

肾脏是成对的实质器官,左右各一,位于腹膜后脊柱两旁的肾窝内。肾的高度为:右肾的肾门位于第2腰椎横突水平,左肾较右肾略高,通常约高1~2cm。肾脏呈蚕豆形,凹面中部的切迹,称为肾门。肾的两端钝圆,肾上极靠近脊柱,肾下极稍稍远离脊柱,左右肾纵轴与脊柱各形成15°~30°左右的角度,呼吸时上下移动度为4~5cm。

肾的毗邻关系较为复杂。左肾内前上方盖有左肾上腺,前面与胃后壁相接触,中部与胰尾及脾血管相邻,下部与结肠脾曲相依;右肾上极内前侧为右肾上腺遮盖,前上2/3与肝相贴,下1/3与结肠肝曲邻接,内缘与十二指肠降部邻接。两肾后上1/3挨膈肌,下部由外向内依次与腹横肌、腰方肌和腰大肌邻接。肾脏的大致解剖关系见图4.4。

2. 肾脏的大小

肾脏的大小个体差异较大,但总的规律是:其体积与体格的发育具有良好的相关性,在胎儿、儿童及青少年阶段,其大小均随胎龄或年龄的增长而增大,17岁基本达成年人水平,25岁左右其体积达高峰,以后持续15~20年,老年肾脏较成年组明显缩小;男性肾脏大于女性。因此,在评价肾脏大小时,既要考虑年龄因素,又要考虑性别因素。不同年龄段肾脏大小分别见表4.11,4.12,4.13,4.14。

表 4.11 不同孕龄胎儿正常肾脏大小 B 超测量值(cm)^[16-17]

孕龄,周	例数	参数	左 肾			右 肾		
			长径	宽径	厚径	长径	宽径	厚径
24~	101	$\bar{x} \pm s$	3.07±0.33	2.06±0.24	1.65±0.18	3.01±0.26	2.09±0.30	1.66±0.22
		范围	2.22~3.92	1.44~2.68	1.19~2.11	2.34~3.68	1.32~2.86	1.09~2.23
28~	213	$\bar{x} \pm s$	3.52±0.33	2.35±0.25	1.88±0.20	3.49±0.34	2.38±0.28	1.88±0.19
		范围	2.67~4.37	1.71~3.0	1.36~2.40	2.61~4.37	1.66~3.10	1.39~2.37
32~	224	$\bar{x} \pm s$	3.92±0.34	2.60±0.24	2.09±0.23	3.91±0.34	2.62±0.27	2.09±0.24
		范围	3.04~4.80	1.98~3.22	1.50~2.68	3.03~4.79	1.92~2.32	1.47~2.71
36~	219	$\bar{x} \pm s$	4.16±0.37	2.77±0.28	2.14±0.25	4.11±0.34	2.80±0.29	2.15±0.31
		范围	3.21~5.11	2.05~3.49	1.50~2.79	3.23~4.99	2.05~3.55	1.35~2.95
40~	95	$\bar{x} \pm s$	4.32±0.27	3.85±0.28	2.19±0.20	4.23±0.33	3.02±0.29	2.21±0.21
		范围	3.62~5.02	2.13~3.57	1.67~2.71	3.38~5.08	2.27~3.77	1.67~2.75

表 4.12 不同年龄儿童正常肾脏大小 B 超测量值(cm)^[18]

年龄	例数	参数	左 肾			右 肾		
			长径	宽径	厚径	长径	宽径	厚径
新生儿	29	$\bar{x} \pm s$	4.44±0.40	2.60±0.26	1.84±0.22	4.46±0.38	2.60±0.24	1.89±0.26
		范围	3.41~5.47	1.93~3.27	1.27~2.41	3.48~5.44	1.98~3.22	1.22~2.56
~1个月	28	$\bar{x} \pm s$	5.44±0.35	3.14±0.27	2.33±0.25	5.42±0.35	3.14±0.29	2.33±0.32
		范围	4.54~6.34	2.44~3.84	1.68~2.97	4.52~6.32	2.39~3.89	1.50~3.16
~6个月	35	$\bar{x} \pm s$	5.95±0.42	3.41±0.20	2.46±0.23	5.99±0.42	3.42±0.20	2.56±0.25
		范围	4.87~7.03	2.89~3.93	1.87~3.05	4.91~7.07	2.90~3.94	1.91~3.20
~1周岁	30	$\bar{x} \pm s$	6.45±0.29	3.55±0.18	2.69±0.32	6.48±0.25	3.57±0.15	2.73±0.24
		范围	5.70~7.20	3.09~4.01	1.86~3.52	5.83~7.12	3.18~3.96	2.11~3.35
~2周岁	30	$\bar{x} \pm s$	6.45±0.32	3.38±0.24	2.79±0.22	6.69±0.39	3.44±0.19	2.84±0.19
		范围	5.62~7.28	2.76~4.00	2.22~3.36	5.68~7.70	2.95~3.93	2.35~3.33
~3周岁	30	$\bar{x} \pm s$	6.83±0.38	3.40±0.17	2.85±0.20	6.95±0.40	3.48±0.21	2.99±0.27
		范围	5.85~7.81	2.96~3.84	2.33~3.37	5.92~7.98	2.94~4.02	2.29~3.69
~4周岁	30	$\bar{x} \pm s$	7.07±0.33	3.50±0.26	2.91±0.25	7.24±0.40	3.51±0.21	2.96±0.22
		范围	6.22~7.92	2.83~4.17	2.26~3.55	6.21~8.27	2.97~4.05	2.39~3.53
~5周岁	30	$\bar{x} \pm s$	7.25±0.40	3.75±0.36	3.06±0.31	7.32±0.40	3.83±0.34	3.14±0.30
		范围	6.22~8.28	2.82~4.68	2.26~3.86	6.29~8.35	2.95~4.71	2.37~3.91
~6周岁	30	$\bar{x} \pm s$	7.63±0.44	3.93±0.34	3.19±0.16	7.85±0.51	4.03±0.35	3.31±0.26
		范围	6.49~8.75	3.05~4.81	2.78~3.60	6.53~9.17	3.13~4.93	2.64~3.98
~7周岁	30	$\bar{x} \pm s$	7.69±0.56	3.94±0.24	3.22±0.23	8.20±0.53	4.17±0.24	3.32±0.24
		范围	6.51~9.40	3.32~4.56	2.63~3.81	6.83~9.57	3.55~4.79	2.70~3.94

(续表)

年龄	例数	参数	左 肾			右 肾		
			长径	宽径	厚径	长径	宽径	厚径
~8 周岁	30	$\bar{x} \pm s$	7.97±0.38	4.20±0.23	3.24±0.30	8.19±0.44	4.37±0.27	3.42±0.35
		范围	6.99~8.95	3.61~4.79	2.47~4.01	7.05~9.32	3.67~5.07	2.52~4.32
~9 周岁	31	$\bar{x} \pm s$	7.82±0.42	4.09±0.29	3.27±0.24	8.08±0.44	4.22±0.25	3.39±0.25
		范围	6.74~8.90	3.34~4.84	2.65~3.89	6.94~9.21	3.57~4.86	2.74~4.03
~10 周岁	30	$\bar{x} \pm s$	8.66±0.47	4.50±0.25	3.58±0.23	8.90±0.46	4.53±0.27	3.80±0.27
		范围	7.45~9.87	3.85~5.14	2.99~4.17	7.71~10.09	3.83~5.23	3.10~4.50
~11 周岁	30	$\bar{x} \pm s$	8.76±0.53	4.60±0.31	3.49±0.31	8.95±0.49	4.70±0.33	3.66±0.30
		范围	7.39~10.13	3.80~5.40	2.96~4.29	7.69~10.21	3.85~5.55	2.89~4.43
~12 周岁	30	$\bar{x} \pm s$	8.95±0.64	4.83±0.29	3.62±0.24	9.21±0.62	4.91±0.32	3.83±0.26
		范围	7.30~10.60	4.08~5.58	3.00~4.24	7.61~10.81	4.08~5.74	3.16~4.50
~13 周岁	30	$\bar{x} \pm s$	9.64±0.54	4.85±0.36	4.01±0.32	9.92±0.60	5.11±0.35	4.08±0.33
		范围	8.25~11.03	3.92~5.78	3.18~4.84	8.37~11.47	4.21~6.01	2.23~4.93
~14 周岁	30	$\bar{x} \pm s$	9.87±0.44	4.66±0.28	3.95±0.25	10.11±0.47	4.76±0.30	4.07±0.26
		范围	8.73~11.00	3.94~5.38	3.30~4.59	8.90~11.32	3.99~5.53	3.40~4.74
~15 周岁	31	$\bar{x} \pm s$	10.13±0.57	4.96±0.33	4.14±0.23	10.38±0.51	5.00±0.28	4.03±0.25
		范围	8.66~11.60	4.11~5.81	3.55~4.73	9.06~11.70	4.28~5.72	3.38~4.67
~16 周岁	29	$\bar{x} \pm s$	10.06±0.59	5.22±0.28	4.30±0.36	10.09±0.62	5.24±0.36	4.25±0.33
		范围	8.54~11.58	4.50~5.94	3.37~5.23	8.49~11.69	4.31~6.17	3.40~5.10
~17 周岁	29	$\bar{x} \pm s$	10.55±0.50	5.28±0.42	4.50±0.35	10.34±0.51	5.76±0.37	4.35±0.38
		范围	9.29~11.84	4.20~6.36	3.60~5.40	9.02~11.66	4.80~6.71	3.37~5.33

表 4.13 成年人正常肾脏大小 B 超测量值(cm)^[19,1]

性别	参数	左 肾			右 肾		
		长径	宽径	厚径	长径	宽径	厚径
男性	$\bar{x} \pm s$	10.18±0.45	5.01±0.39	4.82±0.45	10.03±0.46	4.90±0.37	4.95±0.46
	范围	9.02~11.34	4.00~6.05	3.56~5.98	8.84~11.22	3.95~5.85	3.40~5.78
女性	$\bar{x} \pm s$	9.86±0.42	4.85±0.39	4.42±0.29	9.79±0.46	4.66±0.35	4.46±0.35
	范围	8.78~11.94	3.84~5.86	3.57~5.17	8.60~10.98	3.76~5.56	3.50~5.30

表 4.14 老年人正常肾脏大小 B 超测量值(cm)^[20]

性别	参数	左 肾			右 肾		
		长径	宽径	厚径	长径	宽径	厚径
男性	$\bar{x} \pm s$	9.70±0.79	4.90±0.56	4.64±0.61	9.50±0.78	4.70±0.60	4.51±0.35
	范围	7.66~11.74	3.46~6.34	3.07~6.21	7.49~11.51	3.15~6.25	3.61~5.41
女性	$\bar{x} \pm s$	9.50±0.78	4.84±0.56	4.00±0.35	9.31±0.70	4.52±0.30	3.90±0.42
	范围	7.49~11.51	3.39~6.28	3.10~4.90	7.50~11.12	3.75~5.29	2.82~4.98

七、肾 上 腺

1. 肾上腺的位置及其毗邻关系

肾上腺是左右成对的扁平器官,其位置在腹膜后,脊柱两旁,相当于第 11 胸椎平面,包埋在肾周围筋膜之中,周围是丰富的脂肪组织。右侧肾上腺呈三角形,位于右肾上极的内上方、略偏前面,其内侧部分在下腔静脉后面,上方与肝脏隔一层腹膜相邻,后方与膈肌脚相贴近;左侧肾上腺呈月牙形,在左肾上极的内侧前方,胰尾的后上方和腹主动脉的外侧。

肾上腺的解剖关系见图 4.4。

2. 肾上腺的大小

肾上腺大小受许多因素影响,如年龄、全身内分泌功能改变等。新生儿的肾上腺约为肾脏的 1/3,出生后几天之内就明显变小,成年人肾上腺仅为肾脏的 1/13。因肾上腺形状不规则,在成年人通常只测其上下径和前后径做为判断肾上腺大小的参数。

表 4.15 不同孕龄胎儿正常肾上腺 B 超测量值^[21]

孕龄,周	例数	参数	长径,cm		周长,cm		面积,cm ²	
			左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
26~	30	$\bar{x} \pm s$	2.00±0.3	1.90±0.20	5.20±0.80	5.20±0.50	17.5±5.20	16.40±3.50
		范围	1.70~2.30	1.70~2.10	4.40~6.00	4.70~5.70	12.30~22.7	12.90~19.9
30~	53	$\bar{x} \pm s$	2.20±0.30	2.20±0.30	6.10±0.80	6.0±0.7	22.9±5.9	23.1±5.0
		范围	1.90~2.50	1.90~2.50	5.30~6.90	5.3~6.7	17.0~22.8	18.1~28.1
34~	94	$\bar{x} \pm s$	2.50±0.60	2.50±0.50	7.1±0.8	6.9±0.8	32.3±7.1	29.2±6.1
		范围	1.90~3.10	2.0~3.0	6.3~7.9	6.1~7.7	25.2~39.4	23.1~35.3
38~	81	$\bar{x} \pm s$	2.6±0.3	2.7±0.3	7.2±0.6	7.2±0.6	35.3±5.9	33.1±5.9
		范围	2.3~2.9	2.4~3.0	6.6~7.8	6.6~7.8	29.4~31.2	27.6~39

从表 4.15 可以看出:胎儿肾上腺的长径、周长及面积均随胎龄的增长而增大,左右侧肾上腺的测量值无明显差异。观察胎儿肾上腺的生长发育,可为了解胎儿整体发育,特别是了解胎儿下丘脑-垂体-肾上腺轴发育情况提供信息。肾上腺发育差者,妊娠往往过期;肾上腺增生者常伴有早产,因此准确判定胎儿肾上腺大小对于判断胎儿宫内发育情况很有必要。

表 4.16 成年人正常肾上腺大小 B 超测量值(cm)^[22]

径线	参数	左侧	右侧
上下径	$\bar{x}\pm s$	2.29±0.11	3.03±0.14
	范围	2.07~2.51	2.76~3.03
前后径	$\bar{x}\pm s$	0.61±0.15	0.73±0.18
	范围	0.32~0.90	0.38~1.08

八、子 宫

1. 子宫的位置及其毗邻关系

子宫为厚壁腔小的肌性器官,位于骨盆腔的中央,呈倒置的梨形,内有一空腔。子宫前面为膀胱和尿道,后面紧贴直肠,下端与阴道相连,两侧有输卵管、卵巢、子宫索及子宫阔韧带等。子宫分为三部分:上端圆凸的部分称子宫底,它位于骨盆入口平面以下,两侧为子宫角与输卵管相通;下端狭窄部分为子宫颈,近似圆柱形,颈的下端在坐骨棘的稍上方;底与颈之间的部分为子宫体。子宫表面附以腹膜,正常子宫呈略前倾前屈位,当直立时,子宫底附于膀胱上。受周围毗邻关系的影响,子宫活动度较大,膀胱和直肠充盈程度可影响其位置。

子宫的大致解剖关系见图 4.5^[5]。

2. 子宫的大小

子宫的大小因不同发育阶段而异,是判断女性性发育的重要标志。学龄前幼女子宫变化较小,各年龄间无明显差异(见表 4.17),提示子宫在青春期前的幼儿时期呈萌发前的静态,因此具有相对的稳定性和一致性,随年龄增大,子宫各径逐渐增大,12~16 岁时迅速增大,但并未完成子宫发育,其值尚明显小于成人。从表 4.18 可以看出:成年人子宫大小与是否经产及产次多少有关,未产妇子宫小于经产妇,在经产妇中,产次多者子宫大于产次少者,绝经后子宫逐渐萎缩、变小。

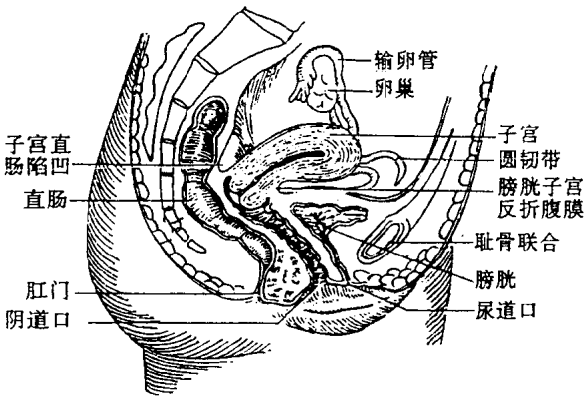


图 4.5 子宫卵巢的解剖关系(矢状断面观)

表 4.17 3~16 岁女孩正常子宫各径线 B 超测量值(cm)^[23,24]

年龄,岁	例数	长 径		宽 径		厚 径	
		$\bar{x}\pm s$	范围	$\bar{x}\pm s$	范围	$\bar{x}\pm s$	范围
3	62	1.71±0.18	1.53~1.89	1.25±0.17	1.08~1.42	0.68±0.11	0.57~0.79
4	131	1.71±0.25	1.46~1.96	1.29±0.21	1.08~1.50	0.67±0.13	0.54~0.80
5	129	1.76±0.28	1.48~2.04	1.31±0.17	1.14~1.48	0.68±0.16	0.52~0.84
6	95	1.81±0.27	1.54~2.08	1.32±0.29	1.03~1.61	0.77±0.17	0.60~0.94
7	10	2.24±0.40	1.84~2.64	1.60±0.32	1.28~1.92	0.90±0.13	0.77~1.03
8	10	2.70±0.49	2.21~3.90	1.55±0.36	1.19~1.91	1.04±0.25	0.79~1.29
9	10	2.66±0.40	2.26~3.06	1.78±0.25	1.53~2.03	1.14±0.38	0.76~1.52
10	10	3.12±0.49	2.63~3.61	2.12±0.50	1.62~2.62	1.36±0.43	0.93~1.79
11	10	3.32±0.51	2.81~3.83	2.40±0.57	1.83~2.97	1.63±0.42	1.21~2.05
12	10	4.00±0.52	3.48~4.52	3.03±0.55	2.48~3.58	2.20±0.37	1.83~2.57
13	10	4.56±0.53	4.03~5.09	3.87±0.63	3.24~4.50	2.85±0.41	2.44~3.26
14	10	4.72±0.69	4.03~5.41	3.73±0.53	3.20~4.26	2.74±0.48	2.26~3.22
15	10	4.52±0.59	3.93~5.11	3.90±0.54	3.36~4.44	2.89±0.51	2.38~3.40
16	10	4.96±0.54	4.42~5.50	4.23±0.31	3.92~4.54	2.80±0.39	2.41~3.19

表 4.18 成年妇女正常子宫各径线 B 超测量值(cm)^[25,26]

类别	例数	长 径		宽 径		厚 径	
		$\bar{x}\pm s$	范围	$\bar{x}\pm s$	范围	$\bar{x}\pm s$	范围
未产妇	220	5.56±0.64	4.92~6.20	4.21±0.88	3.33~5.09	3.51±0.67	2.84~4.18
少产妇	270	6.46±1.21	5.25~7.67	4.81±1.15	3.66~5.96	4.02±0.67	3.35~4.69
多产妇	57	6.91±1.21	5.70~8.12	5.22±1.09	4.13~6.31	4.35±0.87	3.48~5.22
绝经后	58	5.65±0.99	4.66~6.64	4.00±0.88	3.12~4.88	3.31±0.80	2.51~4.11

九、卵 巢

1. 卵巢的位置及其毗邻关系

卵巢为女性的生殖腺,其功能是产生卵并分泌女性激素。卵巢左右各一,位于盆腔中子宫两侧髂内、外动脉所夹的卵巢窝内,并包在阔韧带后层中。卵巢内面朝向盆腔,多与小肠紧邻。外面与骨盆侧壁相贴。上端与输卵管相近,称输卵管端。下端借卵巢子宫索连于子宫。

卵巢的位置及解剖关系见图 4.5。

2. 卵巢的大小

正常卵巢体积出生时约 0.05ml,2 岁以前<1ml,7 岁以前很少增大,属于未发育卵巢,此时卵巢体积与年龄不相关,12 岁前大约为 2ml,以后因青春发育,才开始增大,其增大的速度

与年龄、体表面积及发育分期呈显著正相关,也就是说:一旦青春期开始,则卵巢迅速增大,至初潮(13~15岁时)其大小基本达成年人水平,此为与子宫发育不同之处,因少女初潮时子宫仍明显小于成年人(前已述及)。生殖期妇女其卵巢大小随年龄及月经周期而有变化(见表4.19),成年妇女的卵巢大小约为4cm×3cm×1cm。在卵巢的测量中,各径线的测量是传统的常用的手段,虽能反映卵巢的正常大小,但因卵巢的形态具有可变性,仅有各径线的测量值还不够精确,所以最好求得体积,一般用简化的椭球体公式,计算其体积,即(长×宽×高)÷2,正常体积一般小于6ml。表4.19将生殖期妇女(20~45岁)分为三组,分别测其排卵前期卵巢的长、宽、厚,并测量排卵前后体积,结果表明:26~35岁组卵巢体积大于其它组(此阶段卵巢功能处于最旺盛时期),而且排卵前体积明显大于排卵后,这与文献记载“排卵前期卵巢体积明显大于排卵后期,随排卵期的临近,卵巢体积呈进行性增大,具有良好的相关性”是一致的。由于这一性器官的特殊性,在判断其大小时,既要考虑年龄因素,又要看其处于月经周期的哪一阶段,正常值也因年龄和周期特点而有所不同。

表 4.19 成年女性排卵前期卵巢 B 超测量值^[27]

年龄组	例数	参数	长,cm	宽,cm	厚,cm	排卵前体积, cm ³	排卵后体积, cm ³
20~25岁	54	$\bar{x}\pm s$	3.40±0.39	2.95±0.25	2.00±0.31	12.44±3.75	9.04±2.92
		范围	3.01~3.79	2.70~3.20	1.69~2.31	8.69~16.19	6.12~11.95
26~35岁	72	$\bar{x}\pm s$	3.53±0.47	3.18±0.34	1.94±0.27	14.95±4.35	10.57±2.86
		范围	3.06~4.00	2.84~3.52	1.67~2.21	10.60~19.3	7.70~13.42
36~45岁	43	$\bar{x}\pm s$	3.50±0.40	3.09±0.31	2.05±0.34	12.13±3.54	8.86±2.27
		范围	3.10~3.90	2.78~3.40	1.71~2.39	8.59~15.67	6.59~11.14

十、前列 腺

1. 前列腺的位置及其毗邻关系

前列腺是不成对的实质性器官,位于小骨盆腔内、膀胱颈部下方,包绕尿道的前列腺部,呈前后略扁平的栗子型,尖向下而底在上。前列腺上端宽大称前列腺底,邻接膀胱底,在近前缘处有尿道进入,后缘处有射精管横贯其中。前列腺下端细尖,朝向前下方,坐于尿生殖膈上。底与尖之间为前列腺体,体前面凸隆,距耻骨约2cm,中间有阴部静脉丛、脂肪和疏松结缔组织;体后面平坦,向后借结缔组织与直肠相连,向下距肛门约4cm。前列腺一般分为左右侧叶、后叶、中叶和前叶,左右侧叶最大,位于前列腺的两侧,是前列腺增生的多发部位;侧叶增大,容易压迫尿道,引起排尿困难;后叶位于前列腺

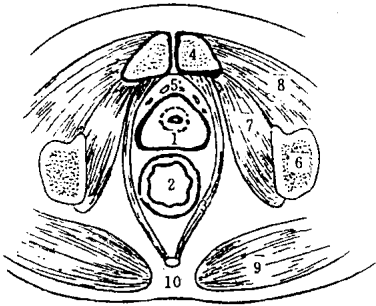


图 4.6 前列腺的解剖关系
(骨盆横断面)

- 1. 前列腺, 2. 直肠, 3. 提肛肌, 4. 耻骨联合,
- 5. 前列腺周围静脉丛, 6. 坐骨, 7. 闭孔内肌,
- 8. 闭孔外肌, 9. 臀大肌, 10. 尾骨。

后部,很少发生增生,但却是癌的好发部位;中叶增生时,向上发展突入膀胱腔,使尿道内口的后唇隆起,容易影响排尿。

前列腺的解剖关系见图 4.6^[5]。

2. 前列腺的大小

前列腺的大小随年龄和性发育而有变化,儿童期体积较小,青春期迅速增大,平均在 24 岁左右达最高峰,30 岁以后趋于稳定。正常人前列腺的 B 超测量值无系统的资料,1983 年 5 月 25 日中华医学会超声诊断专题学术会议通过的“人体脏器超声显像探测法和正常值标准(草案)”中也未提及前列腺,此后虽有些报道,但由于样本例数、仪器条件及探测途径不同,各家数值互有出入,尤其因探测途径的不同,对结果影响更大,根据国内资料,对不同探测途径测量的前列腺正常值列举如下:

表 4.20 不同途径测量前列腺的正常值($\bar{x}\pm s$)^[1]

探测途径	年份	作者	长径,cm	宽径,cm	厚径,cm
腹壁	1985	张 武	2.88±0.52	4.13±0.62	2.75±0.44
直肠	1982	田 峰	—	4.17±0.42	2.12±0.74
直肠	1986	黄桂芬	3.02±0.26	—	2.07±0.21
会阴	1985	张 武	2.40±0.44	4.49±0.67	—

上述各数据归纳起来并加以简化,大致为长径 3cm,宽径 4cm,厚径 2cm,与解剖值相当。由于经腹部测量法比较方便适用,被大多数人所接受,表 4.21 列出了经腹部测量的不同年龄前列腺的 B 超测量值。

表 4.21 不同年龄正常前列腺大小 B 超测量值^[6]

年龄,岁	长度,cm	宽度,cm	厚度,cm
1~10	1.2	1.5	0.9
11~20	3.0	3.8	2.1
21~30	3.3	4.1	2.4
31~40	3.1	4.1	2.5
41~50	3.4	4.0	2.6
51~60	3.6	4.4	2.7
60~	3.2	4.1	2.5

进入老年后,如不出现老年性前列腺增生,则逐渐萎缩变小。50 岁以上男性容易出现前列腺增生症,增生的前列腺往往前后径的增大更明显,使前列腺的形态变胖、变圆,接近球形。

十一、辜 丸

1. 辜丸的位置及其毗邻关系

辜丸为成对的性器官,呈椭圆形,位于阴囊内,左右各一,左侧辜丸较右侧辜丸稍低。辜丸

表面光滑,内侧面较平坦,与阴囊膈相贴连;外侧面略凸隆,贴于阴囊外侧壁。睾丸借后缘的系膜与附睾和精索下部接触,后部被附睾遮盖。

2. 睾丸的大小

睾丸的大小随年龄和性发育而有变化。新生儿的睾丸与躯体之比值相对较成年人比值大,儿童阶段增长缓慢,青春期睾丸迅速增大。表 4.22 为不同年龄睾丸 B 超测量值,17~20 岁时睾丸大小已达成人水平,30~50 岁之间睾丸大小比较稳定,50 岁以后其体积、长径及厚径即开始缩小。

表 4.23 显示:睾丸体积随身高而有增大趋势,表明睾丸的发育与身高的发育基本一致,高个者的睾丸大于矮个者。

表 4.24 结果显示:睾丸体积随体重而有减小趋势,各组体积与体重的比值呈现随体重递增而递减的趋势,表明睾丸的体积不随体重的增加而增大,相对于体重而言,肥胖者睾丸偏小,表中 75kg 以上组睾丸体积略小于其它各组。

表 4.22 不同年龄睾丸体积的 B 超测量值^[28]

年龄,岁	人数	侧别	参数	长径,mm	宽径,mm	厚径,mm	体积,cm ³
17~	30	左	$\bar{x} \pm s$	39.27±3.02	24.53±2.40	21.63±2.46	11.10±2.62
			范围	33.35~45.19	19.83~29.23	16.81~26.45	5.96~16.24
		右	$\bar{x} \pm s$	40.53±3.20	25.00±2.24	21.63±2.14	11.62±2.47
			范围	34.26~46.80	20.61~29.39	17.44~25.05	6.78~16.46
21~	83	左	$\bar{x} \pm s$	39.63±2.78	24.33±2.14	21.25±1.72	10.82±2.21
			范围	34.18~45.08	20.14~28.52	17.06~24.62	6.49~15.15
		右	$\bar{x} \pm s$	40.80±2.78	24.61±1.83	21.24±1.54	11.26±2.07
			范围	35.35~46.25	21.02~28.20	18.22~24.26	7.20~15.32
31~	115	左	$\bar{x} \pm s$	40.24±2.73	24.56±1.57	20.05±1.99	11.00±2.14
			范围	34.89~45.58	21.48~27.64	17.15~24.95	6.81~15.19
		右	$\bar{x} \pm s$	40.96±3.34	24.73±1.78	21.07±2.23	11.31±2.57
			范围	34.41~47.51	21.24~28.22	16.70~25.44	6.27~16.35
41~	81	左	$\bar{x} \pm s$	40.16±2.41	24.41±1.97	20.93±2.56	10.86±2.61
			范围	35.44~44.88	20.55~28.27	15.91~25.95	5.74~15.98
		右	$\bar{x} \pm s$	40.99±2.73	24.14±2.55	20.98±2.35	11.03±2.70
			范围	35.64~46.34	21.10~29.14	16.37~25.95	5.74~16.32
51~	64	左	$\bar{x} \pm s$	37.86±2.34	23.81±1.82	20.17±2.46	9.61±1.92
			范围	33.27~42.45	20.24~27.38	15.35~24.99	5.85~13.37
		右	$\bar{x} \pm s$	39.47±2.11	24.09±2.44	20.28±2.51	10.23±2.84
			范围	35.33~43.61	19.31~28.87	15.36~25.20	4.66~15.80
61~78	42	左	$\bar{x} \pm s$	39.73±3.90	24.41±2.20	20.00±2.30	9.90±2.54
			范围	32.09~47.37	20.10~28.72	15.49~24.51	4.92~14.88
		右	$\bar{x} \pm s$	39.17±3.77	24.26±2.08	20.36±2.53	10.34±2.77
			范围	31.78~46.56	20.18~28.34	15.40~25.32	4.91~15.77

表 4.23 睾丸体积与身高的关系

身高,cm	例数	侧别	体积,cm ³	体积/身高, %
156~	10	左	8.20±0.55	11.06
		右	9.05±0.80	
160~	39	左	9.72±2.21	12.71
		右	10.61±2.51	
164~	142	左	10.61±1.76	12.9
		右	10.54±1.76	
168~	152	左	10.67±2.88	12.93
		右	11.05±2.78	
172~	42	左	10.77±2.04	12.44
		右	10.63±1.59	
176~	30	左	12.24±1.59	15.29
		右	14.67±2.35	

表 4.24 睾丸体积与体重的关系

体重,kg	例数	侧别	体积,cm ³ , $\bar{x}\pm s$	体积/体重, %
50~	60	左	10.11±2.09	41.24
		右	10.51±2.59	
55~	154	左	10.79±2.16	39.55
		右	10.96±2.25	
60~	118	左	10.69±2.96	36.3
		右	11.09±2.92	
65~	38	左	10.28±1.73	33.86
		右	11.73±2.61	
70~	35	左	11.10±1.42	31.97
		右	11.28±1.28	
75~	4	左	9.98±4.11	25.53
		右	9.17±2.96	

(张桂华 王继先)

参 考 文 献

1 周永昌,郭万学主编. 超声医学. 第二版. 北京:科学技术文献出版社,1994.70,334,251,725

2 刘守军,张兆军,张桂华,等. 长春市7~14岁儿童甲状腺体积正常值范围的研究. 中国地方病学杂志,1992,7(3):143

3 陈志辉,吴真,姚文同,等. 非缺碘地区7~14岁儿童甲状腺体积的观察. 中国地方病学杂志,1992,11(增刊):100

4 张桂华,冯晓凤. 青少年正常甲状腺体积及其影响因素分析. 生物医学工程与临床. 1998,2(1):48

- 5 王纯正,张武主编.腹部超声诊断图谱.第一版.辽宁:辽宁科学技术出版社,1991.27,104,234,237,352,184
- 6 汤贞生,戴淑芳.B型超声对200例健康成人肝脏探测分析.陕西新医药,1983,12(11):26
- 7 张缙熙,石建民,程玉芳,等.900名正常人肝胆脾胰B型超声的测量.中级医刊,1985,10:26
- 8 汪洋,原丽萍,王喜芝.1128例新生儿肝脾的B超测值.中国超声医学杂志,1990,6(3):177
- 9 李素平,王建辉,陈建华,等.新生儿胆道B超检测.中国超声医学杂志,1995,11(3):225
- 10 张爱兰,董志兴.1006例正常成人肝、胆、脾超声测值.山西医药杂志,1989,18(4):240
- 11 梁树钢,王秀艳,李玉华.胎儿脾脏B超探查方法及测量值.中国超声医学杂志,1995,11(8):608
- 12 张武,贾建文,苗立英,等.305例正常成人脾脏实时超声测量.中华物理医学杂志,1985,7(1):8
- 13 张秀平.1182例正常儿童胰腺B型超声的测值.中国超声医学杂志,1987,8(1):44
- 14 华秀云,潘永辉,张延令,等.B型超声测量302例正常人体胰腺.中华物理医学杂志,1984,6(2):85
- 15 曹海根,查良镒.老年人胰腺超声显像初步研究(100例分析).友谊医刊,1984,3:48
- 16 窦发坦,刘凤照,李若华,等.胎儿肾脏的B型超声检测.中国超声医学杂志,1995,11(2):145
- 17 郭念群,孔秋英.419例胎儿肾脏超声测量.中华物理医学杂志,1990,12(4):193
- 18 秦柔嘉,李建阳,周平,等.正常小儿肾脏B超检查.中国超声医学杂志,1986,2(2):109
- 19 马桂英,张琳琳,肖淑珍,等.200例正常肾脏B型超声测值分析.河南医学,1984,4(6):336
- 20 莫玉中,赵夏夏,俞天麟.1000例老年人肾脏B型超声普查结果分析.中华老年医学杂志,1988,7(3):174
- 21 何以枚,林礼务,叶真,等.258例正常胎儿肾上腺声像图测量.中国超声医学杂志,1995,11(7):507
- 22 杨斌,张爱宏,雷小莹,等.肾上腺超声切面解剖及其正常值的研究.中华物理医学杂志,1990,12(2):88
- 23 洪国莹.学龄前女童子宫B型超声波正常测值.中华内分泌代谢杂志,1992,8(3):179
- 24 张桂芳,任建华,任力,等.120例正常女孩子子宫各径的超声测量.中国超声医学杂志,1992,8(3):222
- 25 张缙熙,程玉芳,张淑琴,等.605例正常子宫的B型超声测量.中华物理医学杂志,1980,2(1):8
- 26 栗志军,赵国庆,郎东方主编.简明腹部超声诊断学.第一版.北京:科学技术文献出版社,1991.147
- 27 和朝平,唐小平,王朴英,等.169例正常成人卵巢的超声检测.中国超声医学杂志,1991,7(4):274
- 28 黄铁汉,廖锦堂,周凯书.415例正常成人睾丸B超测量分析.中华泌尿外科杂志,1991,12(2):140

第五章 成年人骨骼重量及其有关参数

一、引言

放射生物学研究已经证实,辐射可诱发白血病和骨骼的肿瘤,因而在辐射防护领域中,十分重视亲骨性核素对骨剂量的贡献。为此,ICRP 第 23 号出版物(1975)^[1]曾提出了不同性别骨骼总重量及各类骨组织重量的推荐值。鉴于骨骼组织不同部位的辐射敏感性存在差异(ICRP 第 11 号出版物,1968)^[2],特别是已确认骨髓的造血干细胞和衬在骨表面上的成骨细胞是骨骼中致癌危险的靶细胞,因而 ICRP 第 30 号出版物(1978)^[3]详细介绍了估算骨骼靶器官的吸收剂量的骨剂量学模型,从而使骨剂量的计算趋向精确。1995 年,ICRP 又专门编著了用于辐射防护的骨骼解剖和生理参数的第 70 号出版物^[4],表明骨骼参数在辐射剂量学中占有重要的地位。然而,这些用于骨剂量估算的骨骼重量参数以往皆取自西欧、北美的人体资料,与亚洲人相比有一定差异。由于人体骨骼取样的困难,我国在以往未能系统提出国人骨骼重量的参考值,有关不同部位骨组织的解剖生理参数更是缺如。为此,我们先后于 1982 年和 1990 年系统收集了我国南北地区成年人骨骼重量的资料,参照 ICRP 第 23 号出版物的内容,合并进行了统计分析,提出了我国成年人不同性别的骨骼重量参考值及骨组织的有关参数,从而为较确切估算亲骨性核素所致国人骨骼的吸收剂量提供重要依据,以利于推进放射生物学的剂量效应研究和加强现场辐射防护工作。

本章着重介绍我国成年人骨骼重量参数的制定方法和具体数值,并与国外相应数据进行比较,还列出了国外与骨骼有关的其它参数,最后介绍用于骨剂量计算的剂量学模型,以资参考和实际应用。

二、骨骼的解剖结构

人体骨骼系统的功能不仅是支持机体的软组织、保护重要器官和作为机体运动的基础,而且也是血细胞的形成器官,主要是指肱骨和股骨近端、椎骨、肋骨、胸骨和颅骨板障的红骨髓。骨骼系统按不同部分,可分成中轴骨骼和附肢骨骼两大类。通常人体共有 206 块骨,其中中轴骨骼 80 块(即颅骨 29 块、椎骨 26 块、胸骨 1 块及肋骨 24 块)和附肢骨骼 126 块(即肩带骨 4 块、上肢骨 60 块、盆骨 2 块及下肢骨 60 块)(图 5.1 所示)。ICRP 第 70 号出版物(1995)曾指出^[4],有时在颈椎或腰椎部位可长出肋骨,故肋骨数可有 12~14 块,这样,骨骼总数可达 206~208 块。骨骼按其形状又可分为长骨、短骨、扁骨和不规则骨。长骨是指肢体上的骨,如股骨和肱骨;短骨则是腕部(腕骨)和踝部(跗骨)的骨,扁骨主要指颅顶骨,肋骨和胸骨;不规则骨则构成脊椎、胸带和盆带,还有一些不规则骨见于颅底和面部。

骨骼(Skeleton)系统定义按解剖结构来说,包括骨(Bone)、软骨(Cartilage)、骨髓(Marrow)及关节周围组织(Periarticular tissue)。现简要分述如下。

(1)骨 按其结构硬度、多孔性和软组织含量,又可分成致密骨(Compact bone),又称皮质骨(Cortical bone)和海绵骨(Spong bone),又称骨小梁(Trabecular bone)。骨由大量基质组成,充满无机盐及复杂的细胞网架。骨基质由各种蛋白质、碳水化合物、脂质及其它物质所组成;骨的无机物质主要是钙磷酸盐的沉积物。皮质骨骨质坚硬,是构成所有骨的外壁,也是长骨的支架,而骨小梁骨质软,呈多孔状,由易脆的网格组成,主要位于长骨的骨髓(图 5.2)和扁骨的内部。皮质骨的细微结构是特殊排列的哈佛氏系统(图 5.3),这些系统都由一个供血管通过的中央管即哈佛氏管构成,骨基质围绕中央管呈同心圆排列,称为同心骨板,在骨板间有通过小管连通起来的容纳骨细胞的陷窝。哈佛氏管彼此连接,与骨髓腔相接,再经 Volkmann 氏管与骨外表相连,这两部分小管都是用来传递营养物至骨细胞的。另外,可见 Sharpey's 纤维(粗的胶原纤维)由骨膜外层横向穿入外周骨板和骨基质系统(图 5.3)。骨小梁的结构是由多孔性的软组织组成,小孔内由有机基质填充,主要是骨髓成分,骨小梁内见不到哈佛氏系统。

(2)软骨 广泛分布于体内。在胎儿发育早期,人体骨骼大部分是软骨性的,但以后大部分为骨所取代。

然而在骨关节面上,在一些连结部和肋软骨,某些呼吸器官、外耳及有关管道内,软骨则继续保留。软骨由软骨细胞组成,它埋置在凝胶基质中,不含血管和神经,类似其它结缔组织。

软骨按其细微结构特征,又可分成三类,即①透明软骨,在成年人体内分布最广,包括肋软骨、气管,大部分喉软骨、鼻软骨及骨端的关节软骨等;②纤维软骨,分布较局限,主要见于脊椎的椎间盘,耻骨联合和少数其它的骨连接中;③弹性软骨,见于外耳,咽鼓管、会厌,还局限于喉的小角软骨和楔状软骨等。ICRP 第 23 号出版物推荐成年人软骨总重量约占体重的 1.5%^[1]。

(3)骨髓 是高度分化的细胞组织,位于长骨的圆桶状腔中,以及椎骨、肋骨、胸骨和扁平

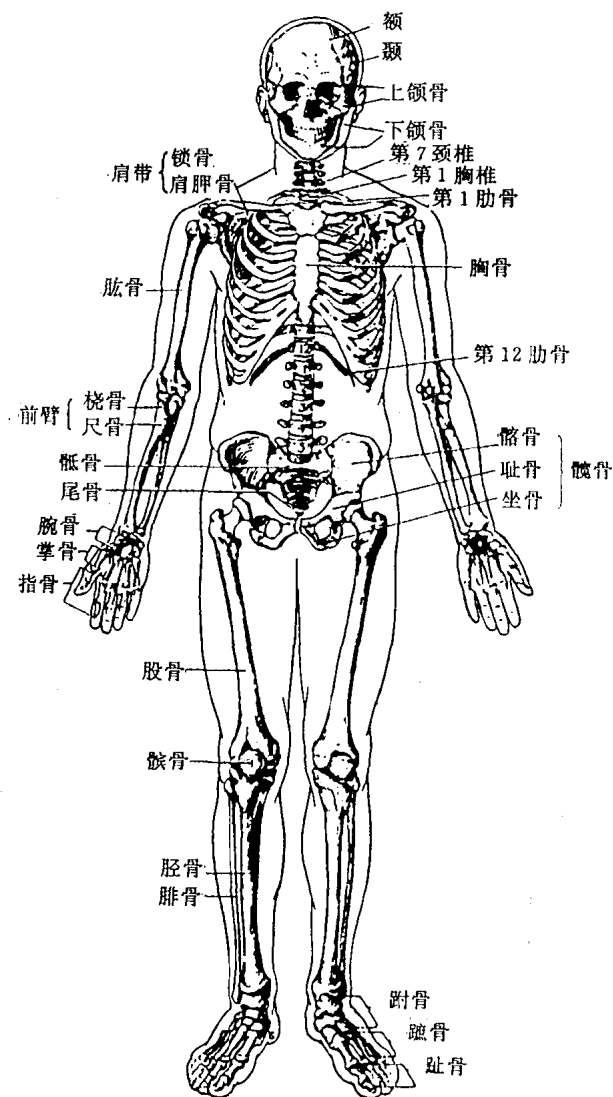


图 5.1 人体骨骼的各部位名称

(引自 ICRP 第 70 号出版物, 1995)

骨等骨小梁的腔中。所有骨髓皆由类海绵状的网状结缔组织、髓样组织(造血细胞)、脂肪细胞、小的成堆淋巴组织以及许多血管和窦状隙所组成。骨髓分红骨髓和黄骨髓两类。红骨髓具有造血功能,因含大量红细胞而呈红色;而黄骨髓因基质中含有脂肪细胞而命名,尽管在黄骨髓中也含有少量的原始血细胞。红骨髓中除生成红细胞外,还可生成所有粒细胞、单核细胞、血小板及淋巴细胞。黄骨髓不能生成血细胞,但在特殊情况下也可转变成红骨髓。在2~3月胎儿的骨中就可出现骨髓,此时还不具有造血功能,但与骨的形成、生成和重建有关,直到胎儿发育的后半期,骨髓才显示出主要的造血功能(图5.4),但在人的一生中骨髓仍然维持某些造骨功能,除了其造血和造骨功能外,骨髓还含有游离的巨噬细胞及固有的网状细胞,它们具有吞噬能力,可使毒物失活,并显示其它网状内皮系统所具有的功能,还具有一定的细胞免疫功能,尽管其能力不如脾脏和淋巴结。

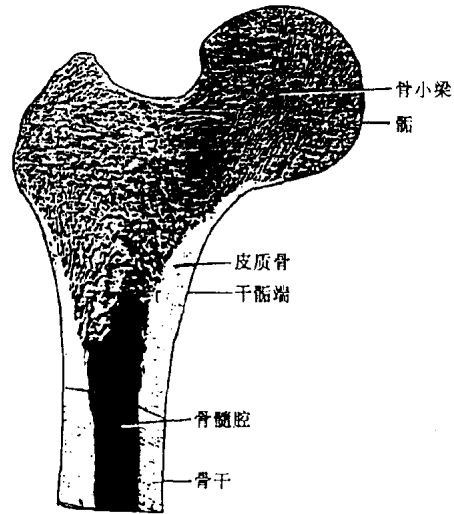


图 5.2 成年人股骨上端部分
(引自 ICRP 第 70 号出版物,1995)

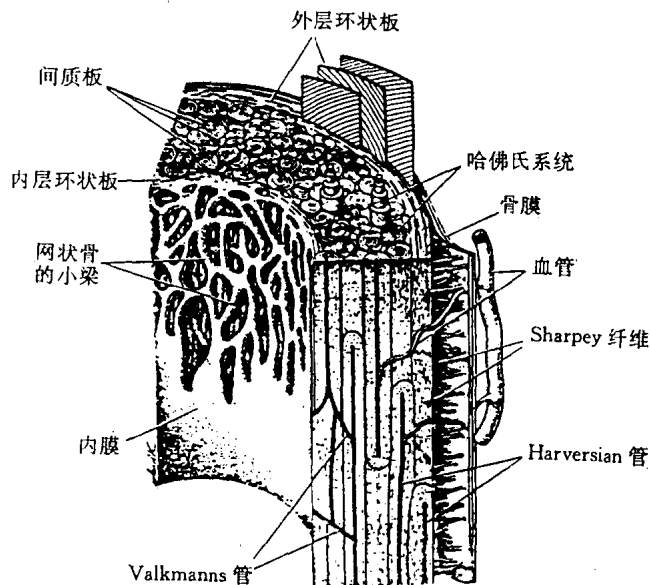


图 5.3 长骨部分切面的图解
(引自 ICRP 第 70 号出版物,1995)

从辐射防护领域来讲,红骨髓是对辐射敏感的组织,是辐射诱发白血病所涉及的主要组

织,可视为辐射作用的靶器官,ICRP 称之为活性红骨髓。红骨髓和全骨髓一样,皆随出生后的年龄而重量递增,到成年时全骨髓、红骨髓的重量与骨骼重量一样,皆呈恒重状态(图 5.5)。在婴儿时期,所有骨中皆含暗红色的造血红骨髓(图 5.6),此时骨髓重量即为红骨髓重量。自幼儿时期开始,部分造血红骨髓转变成无造血功能的黄骨髓;到刚成年时,长骨干中的全部骨髓和海绵骨中的部分骨髓转变成无造血功能的黄骨髓;到成年后,红骨髓主要存在于椎骨、肋骨、骨盆、颅骨、肩胛骨、胸骨及股骨和肱骨的上端部位(图 5.6)。由此可见,红骨髓占全骨髓的百分数是出生后的函数(图 5.7)。按 ICRP 第 70 号出版物(1995)介绍的资料^[4],比较不同骨中红骨髓占体内红骨髓的百分数,发现在新生儿时,除颅骨的红骨髓百分数(27%)最高外,所有骨中皆有一定量的红骨髓百分数(2.3%~9.2%),随着年龄增长,颅骨、肋骨、椎骨、髌骨的红骨髓百分数逐渐增多,其它骨中的百分数却相应减少。到成年时(40 岁),不同部位骨的红骨髓百分数以下列顺序下降,即髌骨(17.5%)、肋骨(16.1%)、颈椎(16.1%)、腰椎(12.3%)、骶骨(9.9%)、颅骨(7.6%)、股骨上半部(2.3%)、下颌骨(0.8%)、锁骨(0.8%),而胫骨、腓骨、髌骨、踝和足骨、肱骨下端、尺骨、桡骨、腕和手骨中的红骨髓百分数趋近于 0。为此,ICRP 第 26 号出版物指出,成年人的造血组织,可以假定为不规则地分布在骨小梁内的红骨髓中,故这些细胞所受的剂量可按充满骨小梁腔的组织平均计算。

另外,在骨髓中存在少量能够自我复制和分化的干细胞,可分化成各种类型成熟的血细胞,此种干细胞称为多向性造血干细胞(PHSC)或称脾结节生成集落(CFU-S)细胞,其紧接的子细胞保留自我更新的能力,但它仅分化至单一终末类型的血细胞,故称为单向性造血干细胞或定向性造血干细胞。它们又可被分成三类干细胞,即:①骨髓红系细胞集落(CFU-E)细胞,最终可分化形成红细胞;②骨髓粒-单核系细胞集落(CFU-GM)细胞,最终可分化形成中性粒

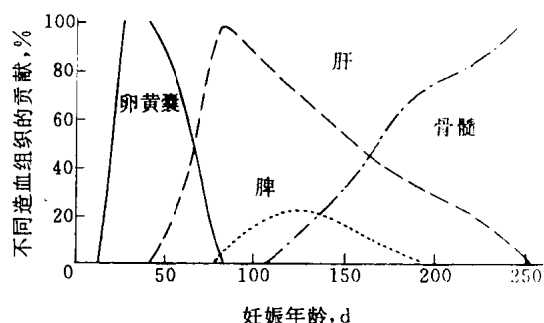


图 5.4 作为妊娠年龄函数的造血时期
(引自 ICRP 第 23 号出版物,1995)

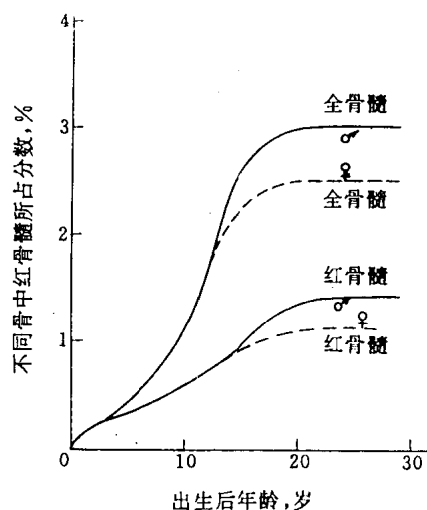


图 5.5 男女两性中作为出生后年龄函数的
全骨髓和红骨髓的重量
(引自 ICRP 第 23 号出版物,1995)

R322-62
WJX

细胞、嗜碱性粒细胞及嗜酸性粒细胞；③骨髓巨核系细胞集落(CFU-M)细胞,最终可分化形成多核巨细胞。

(4)关节周围组织 主要是膝关节和髋关节周围相连的组织,是相当厚的结缔组织,因与骨关节相连,有时不易分离,故关节周围组织的重量一般也列入骨骼重量中。在ICRP第23号出版物中^[1],确定成年参考人的骨重(10kg)中包括这些特殊组织的重量,即男性900g和女性700g。对肌腱和筋膜等组织,也属结缔组织,但不列入骨骼重量中。

另外,值得指出的是骨膜组织,它在辐射防护的骨剂量估算中占有重要的地位,ICRP称之为骨表面组织,骨表面包括骨皮质外膜和内膜及衬在骨小梁表面的内膜,是一层特殊的结缔组织,由成骨细胞、破骨细胞、糖蛋白以及脂质和肽结合而成的基质所组成,具有造骨能力,并且可浓集某些亲骨性核素(如超铀元素、稀土元素等)。放射生物学研究已证实,骨表面的细胞也是辐射敏感的组织,是骨骼中另一靶器官,因此,辐射防护专家认为,对骨骼的当量剂量也应针对这些骨表面的细胞,按有关骨表面下 $10\mu\text{m}$ 距离内的组织平均计算其当量剂量。ICRP第30号出版物取人骨骼的骨内膜总面积为 12m^2 ^[3],其中骨皮质和骨小梁各占一半,由于骨外膜的表面积与骨内膜相比是很小的,故在骨剂量学中可忽略不计。图5.8表示骨表面中各类骨细胞的解剖位置。

三、我国成年人的骨骼重量参数

1. 骨骼标本来源

为了编制我国正常成年人的骨骼重量

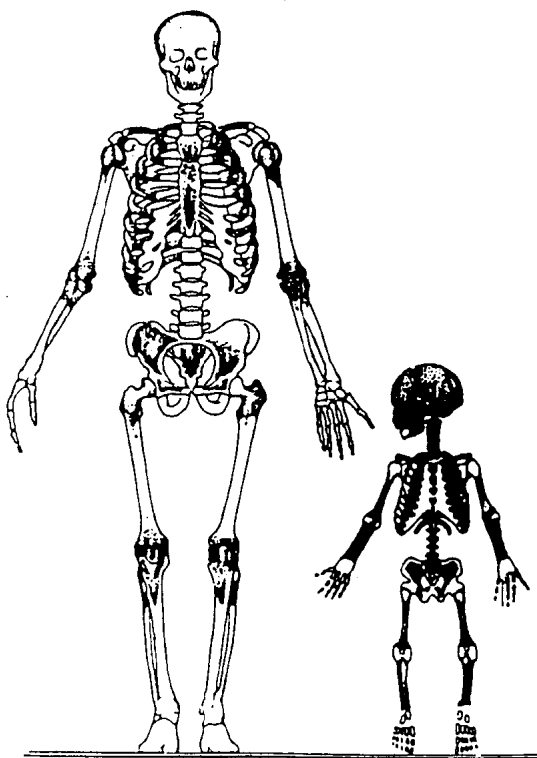


图 5.6 成年人和幼儿的红骨髓分布部位
(引自ICRP第70号出版物,1995)

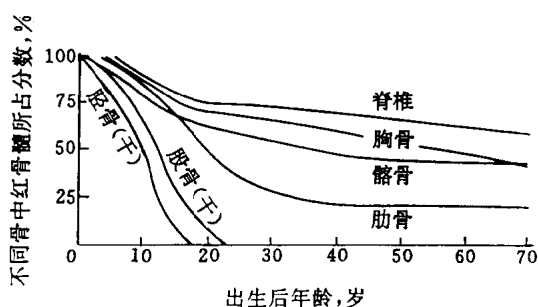


图 5.7 作为出生后年龄函数的不同骨中红骨髓占全骨髓的百分数
(引自ICRP第23号出版物,1995)

参数,取自我国南北两地区的人体骨骼标本。一是沈阳中国医科大学收集的北方地区的骨骼标本 197 例,其中男性 173 例,女性 24 例,年龄 20~50 岁;另一是湖南医科大学收集的南方地区骨骼标本 289 例,其中男性 236 例,女性 53 例,年龄 25~60 岁,在这 487 例骨骼标本中,具有完整骨骼标本的有 280 例,其中男性 237 例,女性 43 例。这两批骨骼标本有的是经去掉周围组织、脱脂、漂白、干燥保存的未脱钙的骨骼标本;有的取自出土骨骼,经消毒晒干分类包装,出土时已无脂肪,也是干燥保存较久的未脱钙骨骼。按规定要求选取标本,凡已风化、疏松或破碎的标本一律舍去。

上述标本分别按颅骨(含上颌骨)、下颌骨、锁骨、肩胛骨、肋骨、胸骨、椎骨(含颈、胸、腰椎)、肱骨、尺骨、桡骨、腕骨、掌骨和指骨)、盆骨、骶骨(未含尾骨)、股骨、髌骨、胫骨、腓骨、足骨(含跗、蹠和趾骨)用标定的量器进行称重。凡属双侧骨骼的一并称重,颅骨(含上颌骨)和下颌骨均为去掉牙齿的重量。根据对骨骼重量数据进行频数分布的统计分析,结果表明,数据服从正态分布。为此,我们以均值和标准差分别表示各类骨骼标本的重量值。

2. 成年人各类骨骼干重

表 5.1 列出了 487 例(含完整和不完整的骨标本)我国成年人各类骨骼干重的性别差异,而表 5.2 列出了其中 280 例完整骨骼标本的称重结果,两批重量值数据基本相近,各类骨骼干重的高低规律也趋一致。从表 5.2 结果可见,女性各类骨骼干重皆低于男性,约为男性各类骨骼重量的 62%~89%,其中尤以肱骨、桡骨、尺骨、股骨、胫骨和足骨等男性要比女性重得多,但若按各类骨重量占骨骼总重量百分数计,则女性颅骨所占百分数高于男性。

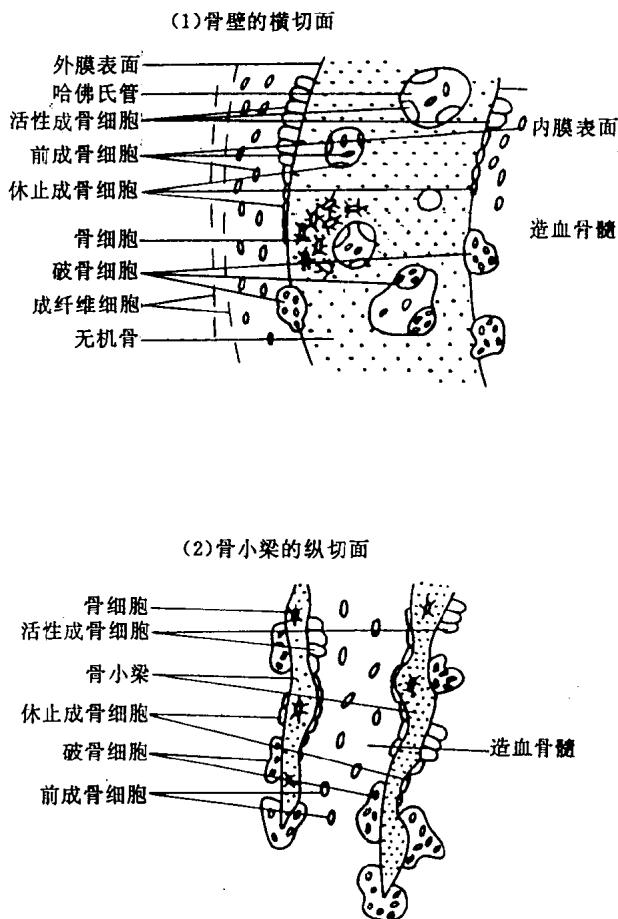


图 5.8 有关骨表面的造骨细胞的图解表示

(引自 ICRP 第 11 号出版物,1968)

表 5.1 中国成年人各类骨骼干重的性别差异

骨骼	男 性(409 例)		女 性(78 例)	
	$(\bar{x} \pm s), g$	占骨全重, %	$(\bar{x} \pm s), g$	占骨全重, %
颅骨	564.3±105.6	17.09	501.3±109.3	20.27
下颌骨	71.2±16.6	2.16	53.9±13.2	2.18
锁骨(2)	37.5±20.6	1.14	26.6±7.2	1.08
肩胛骨(2)	96.6±24.1	2.92	65.1±16.6	2.63
肋骨(2)	226.0±61.3	6.84	163.6±46.3	6.61
胸骨	15.7±5.5	0.48	11.0±2.9	0.44
椎骨	287.1±74.1	8.69	222.9±51.2	9.01
肱骨(2)	211.4±54.4	6.40	141.3±34.2	5.71
尺骨(2)	86.4±21.4	2.62	60.4±15.3	2.44
桡骨(2)	69.9±18.5	2.12	48.1±13.1	1.94
手骨(2)	94.4±21.7	2.89	72.4±15.3	2.93
盆骨(2)	269.4±71.2	8.16	194.5±52.4	7.86
骶骨	62.5±15.8	1.89	49.6±12.1	1.99
股骨(2)	579.1±142.5	17.53	406.5±95.1	16.43
髌骨(2)	20.0±4.9	0.61	13.9±3.5	0.56
胫骨(2)	334.5±92.8	10.13	250.6±61.4	10.13
腓骨(2)	80.9±21.8	2.45	58.6±17.2	2.37
足骨(2)	194.7±49.9	5.90	133.6±33.0	5.40
合计	3302.6		2473.6	

表 5.2 中国成年人各类骨骼干重的性别差异

骨 骼	男 性(337 例)		女 性(43 例)	
	$(\bar{x} \pm s), g$	占骨全重, %	$(\bar{x} \pm s), g$	占骨全重, %
颅骨	576.3±100.1	16.75	522.6±122.0	21.05
下颌骨	72.1±16.0	2.11	55.2±12.2	2.22
锁骨(2)	38.3±10.6	1.11	26.3±7.1	1.06
肩胛骨(2)	101.2±23.0	2.94	65.9±13.4	2.65
肋骨(2)	235.1±59.8	6.84	163.7±40.9	6.59
胸骨	16.4±4.7	0.48	10.7±2.5	0.43
椎骨	291.0±64.3	8.46	228.0±48.6	9.18
肱骨(2)	223.9±51.4	6.51	138.4±33.0	5.57
尺骨(2)	91.1±20.0	2.65	59.1±14.0	2.38
桡骨(2)	74.1±17.8	2.15	47.8±12.5	1.93
手骨(2)	96.7±22.2	2.81	70.3±15.9	2.83
盆骨(2)	282.5±71.1	8.21	201.2±53.9	8.10
骶骨	65.5±15.6	1.90	49.4±12.2	1.99
股骨(2)	615.7±131.2	17.90	402.5±95.0	16.21
髌骨(2)	20.7±4.7	0.60	13.5±3.6	0.54
胫骨(2)	353.6±82.3	10.28	225.7±57.4	9.09
腓骨(2)	84.8±20.4	2.47	57.9±15.9	2.33
足骨(2)	204.3±49.1	5.94	128.6±32.6	5.18
合计	3438.0		2482.6	

表 5.3 列出了 280 例完整骨骼标本的各类骨骼干重的地区差异。结果表明,同一性别的各类骨骼干重在南北方人间有差异,南方人一般皆低于北方人,约为北方人各类骨骼重量的 72%~94%,其中尤以男性的肋骨、足骨重量,南方人较北方人低得多;而女性的肋骨、尺骨、腓骨重量,南方人也较北方人低得多。

根据南北方合计的男性成年人(237 例)及女性成年人(43 例)合计的骨骼重量,从 20 岁到 60 岁间按 8 个年龄段分组,进行骨骼重量与年龄关系的比较,未见随年龄的增长而骨重相应增重的趋势,表示成年人的骨骼重量于 20 岁后基本趋向恒定(图 5.9 所示)。

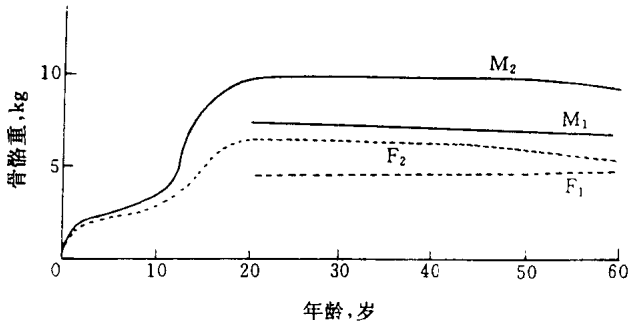


图 5.9 骨骼总重量与年龄关系

M₁, F₁ 为本文实测结果, M₂, F₂ 为 ICRP 第 23 号出版物内容, M 代表男性, F 代表女性

表 5.3 中国成年人骨骼干重在南北方地区间的差异

骨 骼	男 性 (237 例)			女 性 (43 例)		
	南方, g	北方, g	南/北	南方, g	北方, g	南/北
颅骨	548.6±101.9	595.0±91.9	0.92	509.9±138.0	544.1±54.1	0.94
下颌骨	67.0±15.8	76.0±15.1	0.88	53.3±8.6	60.7±8.6	0.88
锁骨(2)	33.0±9.4	41.6±10.3	0.79	25.6±7.3	30.2±6.5	0.85
肩胛骨(2)	88.5±23.5	109.6±18.2	0.81	63.4±14.5	71.7±8.3	0.88
肋骨(2)	191.2±48.2	264.3±46.3	0.72	150.8±33.5	195.3±39.7	0.77
胸骨	15.2±5.4	17.1±4.0	0.89	10.3±1.9	11.3±3.0	0.91
椎骨	269.8±65.0	304.6±59.7	0.89	222.0±73.5	250.0±42.8	0.89
肱骨(2)	191.1±51.5	245.5±38.4	0.78	131.5±32.0	156.3±29.8	0.84
尺骨(2)	77.6±20.9	99.5±14.7	0.78	54.6±13.2	70.8±7.9	0.77
桡骨(2)	61.9±16.7	81.9±13.8	0.76	44.3±12.7	57.1±6.2	0.78
手骨(2)	80.0±19.4	107.6±14.6	0.74	65.9±14.4	81.6±14.1	0.81
盆骨(2)	247.4±71.0	307.3±64.9	0.81	196.4±49.5	222.5±42.5	0.89
髌骨	57.3±14.9	71.1±12.7	0.81	45.7±10.5	58.8±11.7	0.78
股骨(2)	527.7±13.0	670.6±100.9	0.79	384.5±93.4	451.7±79.1	0.85
髌骨(2)	18.7±4.9	22.1±4.0	0.85	13.2±3.9	14.3±2.9	0.92
胫骨(2)	300.7±86.9	387.5±61.5	0.78	214.9±60.5	252.9±43.5	0.85
腓骨(2)	77.5±39.0	93.2±15.1	0.83	52.4±16.6	70.4±9.9	0.74
足骨(2)	165.9±41.0	229.2±36.4	0.72	119.8±25.3	149.6±30.8	0.80
合计	3011.3	3735.2		2379.4	2749.1	

3. 成年人骨骼重量参数

如上所述,骨骼定义按解剖结构来说,包括骨、软骨、骨髓及关节周围组织。我们所述的骨骼重量,就是指含上述骨组织的合计重量。要从上述各类骨骼干重计算骨骼湿重,就必须有一个换算系数(即骨骼湿、干重比值)。表 5.4 列出了引自不同资料的骨骼湿重与干重的比值。

ICRP 第 23 号出版物曾引述欧美一些解剖学者的资料,其中如 Baker 等(1957),曾定去脂肪骨骼的干重平均为 4.4kg(男性)和 3.2kg(女性),按 ICRP 参考人体重推算骨骼总重量,由此可算得骨骼的湿、干重比值分别为男性 2.27(10kg/4.4kg)和女性 2.13(6.8kg/3.21kg)。而在 Frost(1963)的资料中,提出无机骨(Mineralized Bone)的重量可按无机骨的比重(2.3)、无机骨占骨总体积百分数(0.2)及人体骨骼总体积(7.7)来估算,得男性成年人无机骨重量为 3.5kg(2.3×0.2×7.7),而女性成年人 为 2.95kg[58/70(女性与男性之比)×3.5kg],由此算得骨骼湿、干重比值分别为 2.86(男性)和 2.32(女性)。ICRP 第 23 号出版物依据各类骨骼干重的总和(男性为 5.0kg、女性为 3.4kg)^[1],得出骨湿、干比重值两性皆为 2.0。ICRP 第 70 号出版物中曾引述 Trotter 及 Hixon 的资料^[4],其中列出了有关成年组两性白人和黑人的去脂肪干骨的重量,按骨骼总重量 10.5kg(男)及 7.8kg(女)计,则骨骼湿、干比重值分别是:白人为 2.62(男)和 2.86(女),而黑人为 2.48(男)及 2.40(女)。日本对骨骼总重量基本上参照 ICRP 第 23 号出版物的占体重百分数来推算^[5],分别得出 8.3kg(男)及 5.8kg(女),再根据各类骨骼实测干重的总和分别为 4.2kg(男)及 3.2(女),由此算得骨骼湿、干重比值分别为 1.98(男)和 1.81(女)。我们也曾对两性男性尸体进行脱脂和烘干处理,实测结果的比仅为 1.76。显然,这要比 ICRP 及日本的比值低,原因可能是新鲜骨骼脱脂烘干的时间还不够长,而造成比值偏低,考虑到标本例数太少,故此比值不宜采用。但又不完全等同于无机骨的情况,因我们所取骨骼标本皆属脱脂和干燥时间长的标本,故应除去 Frost 及本作者的数据,再综合上述另五批资料,取其均值,则男性为 2.27 及女性为 2.24,以此作为中国成年人骨干重换算成骨湿重的系数,尽管此数值有一定的任意性,但在现有资料的情况下,还是有一定的科学依据和实用价值的。

表 5.4 取自不同资料的骨骼湿重与干重的比值

	男 性	女 性
Frost H. M. (ICRP 第 23 号出版物)	2.86(10/3.5)*	2.31(6.8/2.94)
Baker P. T. et al(ICRP 第 23 号出版物)	2.27(10/4.4)	2.13(6.8/3.2)
ICRP 第 23 号出版物(1975)	2.00(10/5.0)	2.00(6.8/3.4)
Trotter M. et al(ICRP 第 70 号出版物)	2.62(10.5/4.0)	2.86(7.8/2.7)白人
	2.48(10.5/4.2)	2.40(7.8/3.3)黑人
日本(1990)	1.98(8.3/4.2)	1.81(5.8/3.2)
陈等(1995)	1.76(8.8/5.0)	—

* 括号内骨骼的湿干重之比。

表 5.5 不同地区与性别的中国成年人的骨骼重量比较

地区	性别	例数	骨骼干重,kg	骨骼湿重,kg	P
北方	男性 ¹⁾	140	3.7±0.5	8.5±1.0	<0.01
	女性 ²⁾	12	2.7±0.3	6.0±0.7	
南方	男性 ¹⁾	97	3.0±0.6	6.8±1.4	<0.01
	女性 ²⁾	31	2.4±0.5	5.4±1.1	
总计	男性	237	3.4±0.6	7.8±1.4	<0.01
	女性	43	2.5±0.5	5.6±1.1	

1)P<0.01,2)P<0.05。

表 5.5 列出了我国成年人骨骼干重和根据所选定的骨湿、干重比值换算的我国成年人骨骼湿重的均值和标准差。经统计分析表明,无论是北方地区或南方地区,男女之间的骨骼重量差异皆有显著意义($P<0.01$),而同一性别的南北地区差异也具有显著性意义($P<0.01$ 及 $P<0.05$),一般皆为女性 $[(5.6\pm1.1)\text{kg}]$ 低于男性 $[(7.8\pm1.4)\text{kg}]$,南方人[男性 $(6.8\pm1.4)\text{kg}$],女性 $[(5.4\pm1.1)\text{kg}]$ 低于北方人[男性 $(8.5\pm1.0)\text{kg}$,女性 $(6.0\pm0.7)\text{kg}$]。由此表明,作为中国成年人的数值应该要包括南北两个地区的人,而且要分别列出男女两性的数值方具有代表性。

从骨骼的完整性而言,还应包括牙齿、尾骨及舌骨,根据我们的少数实测数据,牙齿取 44g、舌骨(44 例)取 2g,尾骨取 10g。将这些重量加入骨骼总重量内,再四舍五入,由此推荐我国男性成年人骨骼总重量为 8.0kg(北方人 8.5kg,南方人 6.9kg),女性骨骼总重量为 5.7kg(北方人 6.0kg,南方人 5.4kg)(表 5.6 所示)。

表 5.6 中国成年人骨骼重量与日本及 ICRP 资料相比较

性别	中国		日本		亚洲参考人		ICRP 第 23 号出版物		ICRP 第 70 号出版物	
	骨重, kg	占体重 %	骨重, kg	占体重 %	骨重, kg	占体重 %	骨重, kg	占体重 %	骨重, kg	占体重 %
男性	8.0* (北方 8.5 南方 6.9)	13.3	8.3	13.8	8.4	14.0	10.0	14.3	10.5	14.4
女性	5.7* (北方 6.0 南方 5.4)	11.0	5.8	11.3	6.3	12.6	6.8	11.3	7.8	13.0

* 包括舌骨、尾骨及牙齿的重量。

4. 成年人骨骼的源器官和靶器官重量

按骨剂量学计算要求,需要确定骨骼的源器官和靶器官的重量。ICRP 第 30 号出版物^[3]将骨小梁及骨皮质列为骨的源器官,而骨表面细胞及红骨髓列为骨的靶器官。我国迄今没有实测上述重量值,故只能按 ICRP 第 23 号和第 30 号出版物给出的上述器官重量值,再按我国男性成年人骨骼重量(8.0kg)与 ICRP 参考人的相应值(10.0kg)之比来换算,可分别推得我国成年人的骨骼源器官重量估计值(骨小梁 800g,骨皮质 3200g)及骨靶器官重量估计值(骨表面细胞 100g,红骨髓 1200g)(表 5.7)。这些数值对计算骨骼靶器官的待积当量剂量是重要的参数,在辐射防护的骨剂量计算中具有重要应用价值。

表 5.7 中国成年人骨骼的源器官和靶器官的重量

	中国成年人	ICRP 参考人	日本参考人
骨骼的源器官			
无机骨	4000g	5000g	4500g
骨小梁	800g	1000g	900g
骨皮质	3200g	4000g	3600g
骨骼的靶器官			
骨表面细胞	100g	120g	100g
活性红骨髓	1200g	1500g	1000g

5. 成年人软骨及关节周围组织的重量

我国也无实测数据,仅按 ICRP 第 23 号出版物推荐的相应数值,以我国男性成年人骨骼重量与 ICRP 参考人的相应值之比来推算,即软骨重 880g,关节周围组织重 720g(表 5.10 所示),分别均占体重 1.5% 及 1.2%。

四、与国外相应资料的比较

将我国成年人骨骼重量的有关参数与 ICRP 第 23 号出版物(1975)(表 5.8)^[1],ICRP 第 70 号出版物(1996)(表 5.9)^[4],Gi-Tanaka(1988,1990)日本参考人(表 5.10)^[6,7]以及 Gi-Tanake(1996)亚洲参考人(表 5.11)^[8]等有关资料进行比较,可以得出如下结果。

表 5.8 ICRP 第 23 号出版物中有关成年人骨骼的解剖生理参数

	重,g	密度,g/cm ³	体积,L	水含量,%	灰含量,%	脂肪含量,%	蛋白质含量,%
骨骼	10000(女 6800)	1.4	7.14	33	28	19	19
骨	5000(女 3400)	2.2	2.27	17	54	1	25
骨皮质	4000(女 2700)	1.99	1.82	15	55	1	25
骨小梁	1000(女 680)	1.92	0.45	23	50	1	24
骨髓	3000(女 2600)	1.04	2.88	22~44	22~29	10~25	20~21
红骨髓	1500(女 1300)	1.028	—	40	0.6	40	20
黄骨髓	1500(女 1300)	0.983	—	15	0.2	80	4
骨软骨	1100(女 900)	1.1	1.0	78	4.1	1.3	16
关节周围组织	900(女 700)	1.1	0.82	78	4.1	1.3	16
无脂肪干骨	4400(女 3200)	2.31	1.9	—	—	—	—
牙齿	46(女 41)	2.09~ 2.24	—	9.2	68~80	—	18

表 5.9 ICRP 第 70 号出版物中有关不同年龄的骨骼解剖生理参数

不同 年龄	骨骼重, 骨组织重, 软骨重,			骨髓重,g		骨重建速率,%/a		含水骨皮 质密度, g/cm ³	骨灰含量 (占骨重%)	骨 Ca 含量 (占骨重%)	骨 Ca 重,g
	g	g	g	活性 骨髓	非活性 骨髓	骨皮质	骨小梁				
婴儿	370	170	130	50	0	300	300	1.65	2020	16.5	28
1	1170	590	360	150	20	105	105	1.66	23	17	100
5	2430	1760	600	340	160	56	56	1.70	24	19	240
10	4500	2300	820	630	630	33	48	1.75	24	20	460
15(男)	7950	4050	1140	1080	1480	19	35	1.80	26	20.5	830
15(女)	7180	3700	920	1000	1380	—	—	—	—	—	760
35(男)	10500	5500	1100	1170	2480	2	10	1.90	29	21.5	1180
35(女)	7800	4000	900	900	1800	—	—	(全骨 1.3)	—	—	860

表 5.10 中国成年人骨骼重量有关参数与国外资料比较

	重量, g					
	ICRP 第 23 号出版物	ICRP 第 70 号出版物	中国	日本(1988)	日本(1990)	亚洲(1996)
骨骼	10000	10500	8000	8500	8300	8400
骨	5000	5500	4000	4500	4500	4500
骨皮质	4000	4400	3200	3600	3600	3600
骨小梁	1000	1100	800	900	900	900
红骨髓	1500	11170 ¹⁾	1200	1000	1000	1000
黄骨髓	1500	2480 ²⁾	1200	1200	1000	1300
骨髓软骨	1100	1100	880	1000	1000	900
关节周围组织	900	900	720	800	800	700

注:1)为 35 岁的红骨髓;2)为 35 岁的黄骨髓。

表 5.11 亚洲参考人不同年龄和性别的各类骨组织重量参数¹⁾

	0, g	1, g	5, g	10, g	15, g	成年, g
	M/F ²⁾	M/F	M/F	M/F	M/F	M/F
骨骼	600/600	1300/1300	2200/2200	4600/4400	7300/5700	8400/6400
骨	300/300	850/840	1400/1400	2400/2500	4000/3000	4500/3100
骨皮质	240/240	670/660	1100/1100	1900/2000	3200/2400	3600/2700
骨小梁	60/60	180/180	300/290	500/520	800/600	900/700
红骨髓	110/110	190/190	310/300	700/720	900/750	1000/780
黄骨髓	—	—	—	600/400	1000/900	1300/990
骨髓软骨	110/110	170/170	290/280	480/360	840/640	900/700
关节周围组织	80/80	130/130	240/240	380/390	600/450	700/530

注:1)摘自 Gi-ichiro Tanaka, Ph. D. March 1996。2)M 为男性, F 为女性。

1. 关于骨骼重量的年龄趋势

骨骼重量随人体生长发育而增长,一般来说,其年龄趋势与身高、体重的增长是相符的。我国正常人的身高、体重的增长曲线呈现明显的阶段性(见第一章)。男性自初生到 2 岁为快速增长期,3~11 岁为匀速增长期,12~18 岁为突增长期,18 岁开始进入稳定期,22 岁后身高、体重趋向于恒定。ICRP 第 23 号出版物所述骨骼重量随年龄的增长趋势基本与上述身高、体重的增长趋势相近(图 5.9M₂,F₂ 曲线所示),我国成年人的骨骼重量不论男女在成年后皆基本趋向恒定(图 5.9M₁,F₁ 曲线所示),这与 ICRP 第 23 号出版物的资料所述是一致的。

表 5.11 列出了 Tanaka 所推荐的亚洲参考人不同年龄的各类骨骼重量的参数^[8],也可明显看出,随年龄的增长,各类骨髓重量皆相应增长,但增长速率较均匀,未能显示出不同增长速率的年龄段,也未见到 10~20 岁年龄段的突发增长期。

2. 关于骨骼重量的性别差异

从表 5.12 所引我国成年人男女间各类骨骼重量差异与国外相应资料相比较,结果表明,亚洲各国成年人各类骨骼重量女性皆低于男性,比值皆小于 1,而且各类骨骼重量性别差异的比值是相近的,同样可见到颅骨在男女之间重量差异为最小(相差约 10%左右),而其它骨骼在男女之间差异皆在 21%~35%之间。然而欧美人的情况有所不同,从表 5.12 中 Machanik

所引资料来看,颅骨、胸骨、椎骨、盆骨、骶骨、髌骨等重量的性别比,女性可高于或等于男性,其它各类骨骼的重量是男性高于女性。从不同年龄亚洲参考人各类骨组织重量改变的性别差异来看(表 5.11),在 10 岁前,男女间重量几乎相近,到 10 岁时,某些骨组织女性略高于男性;10 岁后,各类骨组织重量男性开始超过女性,到成年后,男性一般皆高于女性 29%~33%。

表 5.12 我国成年人骨骼重量的性别差异与国外资料比较

骨骼	骨骼重量的性别比较(女/男)				
	中国(1995)	日本(1988)	亚洲人(1993)	Machanik(1926)	Tanaka(1981)
颅骨*	0.89	0.91	0.92	1.11	1.20
锁骨	0.69	0.75	0.77	0.82	1.00
肩胛骨	0.65	0.75	0.72	0.84	0.97
肋骨	0.70	0.75	0.75	0.87	0.99
胸骨	0.65	0.75	0.78	1.17	1.00
椎骨	0.78	0.75	0.75	1.12	0.99
肱骨	0.62	0.75	0.67	0.86	0.87
尺骨	0.65	0.79	0.67	0.79	0.89
桡骨	0.65	0.67	0.66	0.82	0.90
手骨	0.73	0.67	0.68	1.00	0.92
盆骨	0.71	0.67	0.79	1.17	1.00
骶骨	0.75	0.67	0.75	1.35	0.95
股骨	0.65	0.73	0.73	1.03	0.96
髌骨	0.65	0.73	0.68	1.17	1.00
胫骨	0.64	0.73	0.73	0.90	0.96
腓骨	0.68	0.76	0.78	0.96	0.96
足骨	0.63	0.76	0.76	0.98	0.95
全部骨	0.72	0.76	0.76	—	—

* 包括下颌骨及牙齿。

表 5.13 成年人各类骨干重占骨骼总干重的百分数(%)

骨骼	中国		ICRP 第 70 号出版物				ICRP 第 23 号出版物
			Trotter and Hison(1974)				Spiers et al
	男	女	男(白人)	女(白人)	男(黑人)	女(黑人)	
颅骨	16.75	21.05	15.7	20.7	15.4	20.3	16.60
下颌骨	2.16	2.22	1.6	1.6	2.0	2.1	1.77
锁骨(2)	1.11	1.06	1.0	1.0	1.1	1.0	1.00
肩胛骨(2)	2.94	2.65	3.1	2.8	3.2	2.9	3.02
肋骨(2)	6.84	6.59	6.0	5.8	6.5	6.1	4.41
胸骨	0.48	0.43	0.5	0.4	0.5	0.4	0.30
椎骨	8.46	9.18	8.5	9.4	8.9	9.4	8.33
肱骨(2)	6.51	5.57	6.8	55.8	6.9	5.9	6.66
尺骨(2)	2.65	2.38	2.9	2.4	3.1	2.6	2.94
桡骨(2)	2.15	1.93	2.3	1.9	2.4	2.1	2.42
手骨(2)	2.81	8.10	2.6	2.4	2.7	2.4	3.04
盆骨(2)	8.21	8.10	—	—	—	—	7.47
骶骨	1.90	1.99	1.9	2.0	1.9	2.0	—
股骨(2)	17.90	16.21	19.0	17.6	18.3	17.0	17.76
髌骨(2)	0.60	0.54	0.6	0.6	0.6	0.5	—
胫骨(2)	10.28	9.09	11.1	9.7	11.0	10.1	10.16
腓骨(2)	2.47	2.33	2.3	2.1	2.3	2.2	2.50
足骨(2)	5.94	5.18	5.6	5.2	5.4	5.0	11.64

从表 5.13 所引我国成年人不同性别各类骨骼干重占骨骼总干重来看,男女间差异却不,这与最近 ICRP 第 70 号出版物中列出的 Trotter 及 Hison(1974)的不同性别白种人和黑种人相应资料相比较来看,男女间差异也不大,而且其相对重量的高低规律也相似,即其中占百分数最大的骨骼是颅骨和股骨,其次是胫骨和椎骨。ICRP 第 23 号出版物所引 Spiers 等人的资料,仅是男性的数值,我国男性数据与之相比,可以说相对重量的高低规律也一致,而且数据也大体相近。

3. 关于我国成年人骨骼重量值与国外的差异

表 5.6 所列我国成年人骨骼重量的参考值(男性 8kg,女性 5.7kg)低于 ICRP 参考人的数值,与 ICRP 第 23 号出版物相比,低 20%(男)和 16%(女),与 ICRP 第 70 号出版物相比,低 24%(男)和 27%(女),与亚洲参考人相比,略有偏低,但与日本参考人的数值相比是接近的。若按骨骼总重量占体重百分数计,我国男性占 13.3%,女性占 11%,略低于 ICRP 参考人和亚洲参考人的数值,但与日本参考人十分相近。

从表 5.10 所列我国成年人骨组织重量有关参数与国外资料比较来看,我国成年人骨重 4000g,要比 ICRP 第 23 号和第 70 号出版物的数值分别低 20%和 27%;骨髓重量 2400g,也要比 ICRP 第 23 号和第 70 号出版物分别低 20%和 27%;软骨和关节周围组织重量也皆低于 ICRP 的数值 20%,但皆与日本参考人和亚洲参考人的数值接近。表 5.7 所示我国成年人骨源器官的重量估计值(骨皮质 3200g,骨小梁 800g),低于 ICRP 的数值,而与日本 1990 年推定的数值^[7](骨皮质 3600g,骨小梁 900g)是接近的。对骨靶器官重量而言,我国成年人的骨表面细胞重 100g,红骨髓重 1200g,也皆低于 ICRP 的数值,但与日本的数值(骨表面细胞 100g,红骨髓 1000g)几乎是相等的,这些参数对确切计算我国成年人骨骼靶器官的剂量是至关重要的。

五、辐射防护中的骨剂量模型

ICRP 第 30 号出版物(1978)^[3]明确指出,在电离辐射照射下,骨骼中致癌危险的细胞是骨髓的造血干细胞以及成骨细胞中特别是骨内膜细胞和邻近骨表面的某些上皮细胞。并假定成年人的造血干细胞不规则地分布在骨小梁的红骨髓中,故这部分细胞所受的剂量,可按充满骨小梁腔体的组织平均计算,而骨皮质给予骨髓的剂量可以忽略不计。对于骨内膜和骨表面的上皮细胞,可按有关的骨表面下 10 μ m 距离内的组织平均计算其当量剂量。

1. 骨剂量学模型

在内照射情况下,成年人体内任一靶器官在 τ 期间内所受的待积当量剂量 $H_T(\tau)$ 由下式给出:

$$H_T(\tau) = 1.6 \times 10^{-4} \sum_s \sum_j [U_s(\tau) \sum_i SEE(T \leftarrow S)_i], \quad (\mu Sv) \quad (5.1)$$

式中, U_s 是源器官 S 中核素 j 在 τ 期间发生的核变化数,而靶器官吸收的比有效能量为:

$$SEE(T \leftarrow S)_i = \frac{Y_i E_i AF(T \leftarrow S)_i Q_i}{M_T} \quad (\text{MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{核变化}^{-1}) \quad (5.2)$$

式中, Y_i 是每次核变化时第 i 种类型辐射的产额; E_i (MeV) 是相应于辐射 i 的平均能量或单一能量; $AF(T \leftarrow S)$ 是源器官 S 中发出第 i 种类型辐射被靶器官 T 所吸收的能量份额; Q_i 是相应于第 i 种类型辐射的品质因子; M_T (g) 是靶器官 T 的质量。

鉴于从骨骼来说,源器官就是骨皮质(CB)和骨小梁(TB),而邻近骨表面细胞(BS)和红骨

髓(RM)就是靶器官。这样,除 γ 发射体外所有放射性核素,其骨表面细胞和红骨髓的 τ 期间的待积当量剂量可由下式给出:

$$\text{骨表面细胞(BS): } H_{BS}(\tau) = 1.6 \times 10^{-4} \sum_j [U_{TB}(\tau) \sum_i \text{SEE}(\text{BS} \leftarrow \text{TB})_i + U_{CB}(\tau) \sum_i \text{SEE}(\text{BS} \leftarrow \text{CB})_i] \quad (\mu\text{Sv}) \quad (5.3)$$

$$\text{红骨髓(RM): } H_{RM}(\tau) = 1.6 \times 10^{-4} \sum_j [U_{TB}(\tau) \sum_i \text{SEE}(\text{RM} \leftarrow \text{TB})_i] \quad (\mu\text{Sv}) \quad (5.4)$$

而其中,

$$\text{SEE}(\text{BS} \leftarrow \text{TB})_i = \frac{Y_i E_i \text{AF}(\text{BS} \leftarrow \text{TB})_i Q_i}{M_{T(\text{骨表面})}} (\text{MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{核变化}^{-1}) \quad (5.5)$$

$$\text{SEE}(\text{BS} \leftarrow \text{CB})_i = \frac{Y_i E_i \text{AF}(\text{BS} \leftarrow \text{CB})_i Q_i}{M_{T(\text{骨表面})}} (\text{MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{核变化}^{-1}) \quad (5.6)$$

$$\text{SEE}(\text{BS} \leftarrow \text{TB})_i = \frac{Y_i E_i \text{AF}(\text{CRM} \leftarrow \text{TB})_i Q_i}{M_{T(\text{活性红骨髓})}} (\text{MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{核变化}^{-1}) \quad (5.7)$$

因骨皮质(CB)对红骨髓几乎没有剂量贡献,AF(RM $\leftarrow$ CB) α 或 β 近似为0,故不必列出SEE(RM $\leftarrow$ CB) $_i$ 项的计算值。

2. 计算骨剂量中的重要参数

除了需提供核素每次衰变的辐射类型产额,辐射的能量以及辐射类型的品质因子等必须参数外,尚需要提供下列重要参数。

(1)源器官和靶器官的重量 如表5.7所述我国成年人骨骼源器官和靶器官的重量值。

(2)骨剂量学的同位素分布类型 在进行骨剂量计算时,应将放射性核素是骨体积均匀分布抑或骨表面分布作出明确分类,方可按分布类型采用相应参数进行剂量计算。ICRP第30号出版物曾对同位素在骨中分布类型提出两个粗略的判别规则^[3],即:①凡放射性半衰期大于15天的碱土元素的同位素可视为均匀分布在整个骨体积中;②凡放射性半衰期小于15天的放射性核素可视为分布在骨表面,因为在它们衰变前不大可能移动较远而进入骨体积内。

表5.14列出了ICRP第30号出版物确定的骨剂量学中的同位素分布类型,其中骨体积均匀分布的有19个元素,骨表面分布的有51个元素,对另外34个元素(如K,Na,S,Cl等)因属全身性均匀分布或主要沉积于某些器官后又均匀分布于其它器官,故不需要从骨剂量学角度对这些元素的同位素进行分类。

表 5.14 骨剂量学的核素分布类型

分布类型	元素及其同位素
骨体积均匀分布 (19个元素)	^7Be ^{10}Be , P($T_{1/2} > 15\text{d}$), ^{41}Ca ^{45}Ca , Cr($T_{1/2} > 15\text{d}$), Co, ^{65}Zn , ^{90}Sr ^{89}Sr ^{85}Sr , Zr, ^{93}Nb ^{94}Nb , ^{103}Pd ^{107}Pd , ^{113}Sn ^{119}Sn ^{121}Sn , Cs, ^{133}Ba , ^{179}Ta ^{180}Ta ^{182}Ta , ^{178}W ^{181}W ^{185}W , ^{202}Pb ^{205}Pb ^{210}Pb , Po, ^{226}Ra ^{228}Ra , ^{232}U ^{233}U ^{234}U ^{235}U ^{236}U ^{238}U
骨表面分布 (51个元素)	F, Mg, Al, P($T_{1/2} < 15\text{d}$), ^{47}Ca , Cr($T_{1/2} < 15\text{d}$), Mn*, Zn(除 ^{65}Zn 外), Ga*, Sr(除 ^{90}Sr ^{89}Sr ^{85}Sr 外), Y, Nb(除 ^{93}Nb ^{94}Nb 外), Mo, Pd(除 ^{103}Pd ^{107}Pd 外), Sn(除 ^{131}Sn $^{119\text{m}}\text{Sn}$ ^{121}Sn 外), Sb* Te*, Ba(除 ^{133}Ba 外), La*, Hf*, Ta(除 ^{179}Ta ^{180}Ta ^{182}Ta 外), W(除 ^{178}W ^{181}W ^{185}W 外), Pb(除 ^{202}Pb ^{205}Pb ^{210}Pb 外), ^{223}Ra ^{224}Ra ^{225}Ra 及 ^{227}Ra , Ac, Th, Pa*, ^{229}U ^{230}U ^{231}U $^{235\text{m}}\text{U}$ ^{237}U ^{239}U 及 ^{240}U , Ce, Pr*, Nd*, Pm, Sm*, Eu, Gd*, Tb*, Dy*, Ho*, Er, Tm, Yb, Lu, Np, Pu, Am, Cm, Bk*, Cf, Es, Fm, Md

* 缺乏代谢资料,由其它核素推估的。

(3)靶器官对源器官辐射的吸收分数 骨表面和红骨髓的吸收分数,与 α 、 β 辐射体在骨中的分布类型及辐射能量有关。表 5.15 列出 ICRP 第 30 号出版物推荐有不同分布类型和不同能量的 α 、 β 辐射在靶器官中的吸收分数值。在计算骨剂量时,可针对不同情况,选取表中相应的吸收分数值。

表 5.15 计算骨靶组织剂量时, α 、 β 辐射的吸收分数值(AF)

骨源器官给予 靶组织的 AF	放射性核素分布类型				
	α 辐射体骨	α 辐射体骨	β 辐射体骨	β 辐射体骨表面分布, β 辐射体骨表面分布,	
	体积均匀分布	表面分布	体积均匀分布	$\bar{E}_\beta > 0.2\text{MeV}$	$\bar{E}_\beta < 0.2\text{MeV}$
AF(BS $\leftarrow$ TB)	0.025	0.25	0.025	0.025	0.25
AF(BS $\leftarrow$ CB)	0.01	0.25	0.015	0.015	0.25
AF(RM $\leftarrow$ TB)	0.05	0.5	0.35	0.5	0.5
AF(RM $\leftarrow$ CB)	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

3. 骨剂量计算的实例

以两种亲骨性核素不同分布类型为例,进行骨剂量的计算如下。

(1)亲骨体均匀分布—— ^{226}Ra 例 日本 H. Kawamura 等报道(1991)^[9],曾对东京及札幌两市的 18 例一般成年居民(1981~1987 年死亡)进行骨中 ^{226}Ra 沉积量的测定,其平均浓度为 $0.35\text{Bq}(\text{kg})^{-1}$ (灰)。依据上述计算骨剂量的公式,采用 ICRP 参考人与日本参考人的有关骨重量参数,可比较得出所致骨靶器官 1 年期间的待积当量剂量。这里引入的参数还包括: ^{226}Ra 的 α 射线能量为 4.875MeV (94.4%)和 4.602MeV (5.55%), α 的品质因子为 20;日本参考人的红骨髓重量 1000g,骨表面细胞重量 100g,骨小梁重 900g,骨皮质重 3600g;骨小梁与骨皮质中灰含量分别以 50%和 55%计,则骨小梁与骨皮质的灰量分别为 450g 及 1980g。由此算得骨中 ^{226}Ra 的比有效能量分别为:

$$\begin{aligned} \sum_i \text{SEE}(\text{BS} \leftarrow \text{TB})_i &= 2.43 \times 10^{-2} (\text{MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{核变化}^{-1}) \\ \sum_i \text{SEE}(\text{BS} \leftarrow \text{CB})_i &= 9.72 \times 10^{-3} (\text{MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{核变化}^{-1}) \\ \sum_i \text{SEE}(\text{RM} \leftarrow \text{TB})_i &= 4.86 \times 10^{-2} (\text{MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{核变化}^{-1}) \end{aligned}$$

由公式(5.3)及公式(5.4)分别得出 ^{226}Ra 致骨靶器官的 1 年期间的待积当量剂量为骨表面 $[H_{\text{BS} \cdot (1)}]53\mu\text{Sv}$ 及红骨髓 $[H_{\text{RM} \cdot (1)}]3.9\mu\text{Sv}$,这比用 ICRP 参考人相应参数计算所得的剂量 $[H_{\text{BS} \cdot (1)}]49\mu\text{Sv}$ 及 $[H_{\text{RM} \cdot (1)}]2.9\mu\text{Sv}$ 要分别高出 8%和 34%。

(2)亲骨表面分布—— ^{239}Pu 例 孙世则等报道(1989)^[10],我国核工业某生产厂,1. 操作工人,男性,28 岁,于 1977 年 5 月 28 日违章操作单次吸入大量硝酸钚。通过尿钚系统监测,采用 Lawrence PUQFUA 程序估算出累积钚入血量,最后算得钚吸入量为 $3.95 \times 10^4 \text{Bq}$ 。按 ICRP 第 30 号出版物推荐的生物动力学模型(假定钚粒子 $\Delta\text{MAP}=1\mu\text{m}$),则可算得吸入后 1 年内的 $U_{\text{TB} \cdot (1)}=U_{\text{CB} \cdot (1)}=3.00 \times 10^{10}$ 核变化。计算骨剂量中的有关参数包括: ^{239}Pu 的 α 射线能量为 5.155MeV (73.3%), 5.143MeV (15.1%)及 5.105MeV (11.5%),经加权后,取其有效平均能量为 5.142MeV ; α 的品质因子 20;我国成年人的红骨髓重量 1200g,骨表面细胞重量 100g,骨

小梁重 800g, 骨皮质重 3200g, 由此算得²³⁹Pu 在骨中的比有效能量分别为:

$$\sum_i \text{SEE}(\text{BS} \leftarrow \text{TB})_i = 4.29 \times 10^{-2} (\text{MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{核变化}^{-1})$$

$$\sum_i \text{SEE}(\text{BS} \leftarrow \text{CB})_i = 2.57 \times 10^{-1} (\text{MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{核变化}^{-1})$$

$$\sum_i \text{SEE}(\text{BS} \leftarrow \text{TB})_i = 2.57 \times 10^{-1} (\text{MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{核变化}^{-1})$$

由公式(5.3)及公式(5.4)分别得出²³⁹Pu 致骨靶器官的1年期间的待积当量剂量为骨表面 $[H_{\text{BS} \cdot (1)}] 2.47 \times 10^6 \mu\text{Sv}$, 红骨髓 $[H_{\text{RM} \cdot (1)}] 2.06 \times 10^5 \mu\text{Sv}$, 这比用 ICRP 参考人相应参数计算所得的剂量 $[H_{\text{BS} \cdot (1)} 2.05 \times 10^6 \mu\text{Sv}$ 及 $H_{\text{RM} \cdot (1)} 1.65 \times 10^5 \mu\text{Sv}]$ 要分别高出 20% 和 25%。由此表明, 因骨骼重量参数的不同, 计算所得的骨剂量是有差异的, 这也正是采用我国成年人自己的参数, 所得的剂量更符合国人实情的意义所在。

(陈如松 王兆兰)

参 考 文 献

- 1 ICRP. ICRP Publication 23. Report of the task group on reference man. Oxford: Pergamon Press, 1975. 62-85
- 2 ICRP. ICRP Publication 11. A review of radiosensitivity of the tissues in bone. Oxford: Pergamon Press, 1968
- 3 ICRP. ICRP Publication 30. Part 1. Limits for intake of radionuclides by workers. Oxford: Pergamon Press, 1979
- 4 ICRP. ICRP Publication 70. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: The skeleton. Oxford: Pergamon Press, 1995
- 5 Kawamura H. ICRP reference man and reference Japanese man studies. In: Kawamura H, et al. Characteristics of the human body and other relevant factors in dose assessment. NIRS, 1989. 3~14
- 6 Gi-ichiro Tanake. Japanese Reference Man 1988-Ⅲ, Masses of organs and tissues and other physical properties. Nippon Acta Radiologica, 1988, 48(4):25
- 7 Gi-ichiro Tanaka. Japanese reference man. 保健物理, 1990, 25:49~60.
- 8 Gi-ichiro Tanaka, Kawamura H. Anatomical and physiological Characteristics for Asian reference man, NIRS-M-115. March 1996
- 9 Kawamura H. Yamamoto M. Igarashi Y. Naturally occurring ²²⁶Ra concentrations in bone at various ages and a dose in adults. Health Physics, 1991, 61(5):615~622
- 10 孙世则, 陈如松, 魏哲等. 过量受照人员临床医学. 北京: 原子能出版社, 1989. 14

第六章 造血、血液与淋巴系统

一、造血组织

骨髓是出生后的造血组织。肉眼观察骨髓是一种海绵状,胶状或脂肪性的组织,封闭于坚硬的骨骼腔(骨髓腔)内。依年龄的不同,骨髓的重量、分布及构造有所不同。

1. 骨髓的重量和分布

骨髓分为红骨髓(造血细胞髓)及黄骨髓(脂肪细胞髓)。人类出生时所有骨髓腔内充满红骨髓,随着年龄的增长骨髓开始脂肪化,从肢体末端向着中央进行,至成年人的早期,长骨的骨髓几乎都转化为黄骨髓,只有扁骨还保留红骨髓,这包括髌骨、脊椎、肋骨、肩胛骨及颅骨。但在股骨上端及肱骨上端仍保留少许红骨髓。

全骨髓,红骨髓和黄骨髓的相对重量(占体重的%)随年龄的变化列入表 6.1。红骨髓在各骨骼中的分布(%)随年龄的变化列入表 6.2 中^[1]。

表 6.1 估算的全骨髓、红骨髓和黄骨髓的相对重量(占体重的%)

年龄,岁	全骨髓	红骨髓	黄骨髓
新生儿	1.3	1.3	0.0
1	1.7	1.5	0.2
5	2.5	1.7	0.8
10	3.8	1.9	1.9
15	4.5	1.9	2.6
35 男	5.0	1.6	3.4
35 女	4.5	1.5	3.0

我国尚无骨髓重量的资料,Tanaka 根据日本人的资料推荐的亚洲参考人骨髓重量:15 岁时全骨髓重量男为 1900g(红骨髓 900g,黄骨髓 1000g),女为 1650g(红骨髓 750g,黄骨髓 900g),成年人(20~50 岁)全骨髓重量男 2300g(红骨髓 1000g,黄骨髓 1300g),女 1770g(红骨髓 780g,黄骨髓 990g)^[2]。ICRP 第 70 号出版物根据西方人的资料推荐的参考值列入表 6.3。

2. 骨髓的构造

骨髓由血管、神经、网状组织及基质等组成,这些已被学者们称为造血微环境。其间充以实质细胞(造血细胞)^[3]。

骨髓有丰富的血管系统。以动物股骨为例,动脉自股骨骨干近心端的营养孔穿入骨皮质,进入骨髓腔,立即分为升枝与降枝,继续分枝,向骨髓端行走,至骨髓端分出小的分枝,营养骨髓部的骨髓,最后进入骨的皮质。当动脉在长轴中心纵向行走时,分出分枝,自中心向骨髓周边行走,作放射状排列。在骨内膜下又分成很多小的分枝,形成毛细血管网。有些毛细血管终于骨髓的周边,有些再返回骨髓,联接于血窦。血窦彼此连接,构成复杂的网状系统,并聚合成为

集合静脉,向长轴的中心行走,故也作放射状排列,最后进入中央静脉。中央静脉沿骨髓腔长轴中心纵向行走,与营养动脉相伴,并从营养孔走出骨髓腔。在血窦之间充满了骨髓的实质,即造血组织,也可以夹杂一些脂肪细胞或胶质。靠近骨皮质的骨髓,夹杂脂肪细胞较多。骨髓的造血细胞有巨核细胞系(紧贴血窦壁),红细胞造血岛(也靠近血窦壁)及粒细胞造血岛(远离血窦壁,位于血窦与血窦之间)。在这些造血细胞之间散在一些单核细胞。网状细胞构成血窦壁的外层。各血窦壁外层的网状细胞伸出伪足,互相联接成网状,其间充以造血细胞。

表 6.2 不同年龄人的红骨髓在各骨骼中的分布

	各年龄(岁)人红骨髓的比例,%						
	0	1	5	10	15	25	40
颅 骨	27.0	25.1	15.9	11.6	9.2	7.7	7.6
下颌骨	2.5	2.4	1.6	1.1	0.9	0.8	0.8
肩胛骨	2.7	2.7	2.7	2.9	3.3	2.9	2.8
锁骨	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	0.8	0.8
胸骨	0	0.8	1.7	2.1	2.7	3.0	3.1
肋骨	9.2	8.9	8.8	10.9	13.6	15.2	16.1
颈椎骨	3.4	2.8	2.2	2.7	3.3	3.7	3.9
胸椎骨	8.3	8.4	8.9	10.9	13.7	15.3	16.1
腰椎骨	2.4	4.3	6.8	8.4	10.5	11.7	12.3
骶骨	0.1	2.4	5.5	6.7	8.4	9.4	9.9
髌骨	9.2	11.1	13.1	15.6	18.5	19.5	17.5
股骨上半部	3.7	4.1	6.8	9.4	9.2	7.4	6.7
股骨下半部	3.7	3.9	6.3	6.1	2.0	0	0
胫骨、腓骨、髌骨	8.0	8.7	9.0	5.5	0	0	0
踝骨和足骨	8.3	4.7	2.5	0	0	0	0
肱骨上半部	2.3	2.4	2.4	2.5	3.1	2.5	2.3
肱骨下半部	2.3	2.3	2.2	1.6	0.7	0	0
尺骨和桡骨	2.5	2.5	2.0	1.1	0	0	0
腕骨和手骨	3.6	1.9	0.9	0	0	0	0

表 6.3 ICRP 第 70 号出版物推荐的骨髓重量参考值(g)^[1]

年龄,岁	全骨髓	红骨髓	黄骨髓
0	50	50	0
1	170	150	20
5	500	340	160
10	1260	630	630
15 男	2560	1080	1480
15 女	2380	1000	1380
35 男	3650	1170	2480
35 女	2700	900	1800

3. 骨骼的血流量和血容量

骨骼血容量的测定比较复杂,因为其所含的骨髓是富含小血管的组织,在此组织内不同部位,不同时间其组织的血流量是变化的。正常人在休息状态此组织的血流量约占心脏排出量的2.5%~9.5%,估计中位数约5%。有人估计成年男性骨骼内的血管内腔约为骨膜内所有空腔

的6%。骨骼及其所含的骨髓的血容量约为40ml/kg组织,约占全血容量的6%~7%。而骨髓内骨髓的血容量是不恒定的,红骨髓的血容量大于黄骨髓,全骨髓的血容量大于全部骨骼的血容量。估计正常成年人的黄骨髓的血容量约占全血容量的1%,而红骨髓的血容量约占全血容量的4%。

4. 细胞转换时间(Cell turnover time)

(1)红细胞系统 红细胞在骨髓中生成,由多能干细胞发展为爆增型红系细胞集落(BFU-E),及红系细胞集落(CFU-E),这些已进入红细胞系的祖细胞,再进一步分化成熟。为了说明这一分化成熟的较长的过程,学者将其分为若干阶段,并给以适当的名称。我国统一应用的名称为:原始红细胞,早幼红细胞,中幼红细胞,晚幼红细胞,网织红细胞及成熟红细胞,后者已脱去细胞核,一般称为红细胞。从原始红细胞至网织红细胞的转换时间约为72小时,其中原始红细胞的转换时间为20~42小时,多为30小时;早幼红细胞为15小时;中幼红细胞为11小时;晚幼红细胞为16小时;骨髓中的网织红细胞成熟时间约为65小时。最初的网织红细胞具有活跃的血红蛋白合成功能,在最初的一天半约合成血红蛋白的1/4,以后则合成速度减缓,在骨髓内的最后一天合成的血红蛋白约小于细胞血红蛋白的5%,以后网织红细胞即被释放入血循环。在血循环中网织红细胞还须经25小时才完全成熟,成熟红细胞的平均寿命约为120天。

(2)粒细胞系统 和红细胞系统相似,学者们也把它在分化成熟过程中分为若干阶段,并给以不同的名称。这些名称是:原始粒细胞,早幼粒细胞,中幼粒细胞,由于胞浆中颗粒的不同,分为嗜酸中幼粒细胞,嗜碱中幼粒细胞和中性中幼粒细胞。以后此三系粒细胞按各自路线成熟,即三系晚幼粒细胞,三系干状核粒细胞及三系分叶核粒细胞。从干细胞至成熟粒细胞的细胞转换时间为10~14天,各阶段粒细胞的转换时间约为:原始粒细胞为15小时,早幼粒细胞24小时,中幼粒细胞70~104小时,晚幼粒细胞至成熟粒细胞约为158~200小时。

人类粒细胞的产率每天约为 $1.6 \times 10^4/\text{kg}$ (体重),大部分终末细胞为中性分叶核粒细胞,大部分贮存细胞为晚幼粒细胞,干状核,及中性分叶核粒细胞,约为每日生成粒细胞的10倍。通常一般保留在骨髓中,如需要量增加,可动员这些细胞进入血循环,最易动员的细胞为成熟粒细胞。感染时除动员成熟粒细胞外,还可动员干状核,甚至晚幼粒细胞也可被动员入血流。

(3)单核细胞系统 单核巨噬细胞系统与粒细胞有共同的祖细胞,即粒-单细胞集落(CFU-GM)。按照不同的成熟程度称之为:原始单核细胞,幼稚单核细胞及单核细胞,其中约半数骨髓中的幼稚单核细胞迅速增生,成为无增生能力的单核细胞,其余的组成缓慢更新的祖细胞并贮存于骨髓中。一旦需要组织巨噬细胞时,这些细胞即可被活化,满足机体的需要。单核细胞的产率每小时约为 $7 \times 10^6/\text{kg}$ (体重)。从干细胞至单核细胞的总共转换时间约为55小时。单核细胞在移至组织之前约在血循环中停留12~16小时,移至组织之后即分化为巨噬细胞,此阶段是单核细胞系的功能阶段。在组织中维持巨噬细胞主要依靠血循环中的单核细胞持续的进入组织。虽然巨噬细胞能够分裂,但正常情况下,它们的增生不能满足组织中巨噬细胞的更新。

(4)血小板的生成 人类血小板是由骨髓中的巨核细胞胞浆分裂而生成的。巨核细胞系因其分化、成熟的程度不同而称为原始巨核细胞,幼稚巨核细胞,巨核细胞及裸核巨核细胞。人类从干细胞至能产生血小板的巨核细胞的生成时间(generation time)估计约为10天,巨核细胞的成熟时间约10~25天。血循环中血小板数的多少是因病理生理的需要而调节的。例如大出血后数日骨髓中的巨核细胞可增加3~4倍,血循环中的血小板数可增至原来的150%~

200%。血小板在血中的寿命约 3~5 天。

(5)淋巴细胞的生成 哺乳动物骨髓是淋巴细胞生成的主要部位。小鼠骨髓的小淋巴细胞的产率约为 10^8 细胞/天,人类淋巴细胞的转换时间还未确定,但已知实验动物的骨髓中有短寿命的(数日)及长寿命的(数周乃至数月)两种淋巴细胞。

5. 国人骨髓的造血细胞

我国王凤计教授等人^[4]作了大量工作,给出了国人骨髓造血细胞正常值,包括骨髓的有核细胞的数目(表 6.4),骨髓有核红细胞的数目(表 6.5),骨髓有核细胞核分裂的百分数,髂骨前上棘中性干状核,中性分叶核及淋巴细胞的数目(表 6.6),骨髓和外周血网织红细胞的数目及其比值(表 6.7)及国内不同地区正常成年人的骨髓象(表 6.8)。

表 6.4 正常人骨髓有核细胞($10^4/mm^3$)

部位	例数	最低值	最高值	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	s
髂骨前上棘	148	2.6	29.65	10.54	0.21	2.50
髂骨后上棘	15	2.6	23.10	9.87	1.71	6.63
胸骨	45	3.9	28.10	14.23	1.08	7.23
脊突	15	2.8	42.00	16.97	2.84	10.99

表 6.5 正常人骨髓有核红细胞($10^4/mm^3$)

部位	性别	例数	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	s
髂骨前上棘	男	55	2.28	0.11	0.79
	女	54	2.18	0.10	0.74
髂骨后上棘	男	15	2.15	0.33	1.42
胸骨	男 女	45	3.49	0.22	1.51
脊突	男 女	15	3.64	0.65	2.61

表 6.6 100 例正常人髂骨前上棘骨髓中三种细胞的绝对值(个/ mm^3)

中性杆状核			中性分叶核			淋巴细胞		
最低	最高	均值	最低	最高	均值	最低	最高	均值
6214	64515	25981.0	3680	21909	9331.0	7696	45034	23081.0

表 6.7 正常人耳血和骨髓网织红细胞

部 位	性 别	例 数	相对数, %			绝对值, $10^4/mm^3$		
			$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	s	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	s
耳血	男	149	1.43	0.05	0.65	6.50	0.25	3.08
	女	81	1.54	0.04	0.37	6.58	0.31	2.75
髂骨	男	101	3.43	0.11	1.14	14.77	0.33	3.26
	女	64	4.07	0.17	1.34	16.25	0.36	2.81
胸骨	男	48	4.07	0.28	1.96	16.54	1.08	7.49
	女	16	4.23	0.29	1.17	14.48	1.00	4.02

表 6.8 全国不同地区正常成年人骨髓象(%)

地区	北京	北京	天津	天津	安徽	浙江	江西	广西	广西	四川	山西
种族	汉	汉	汉	汉	汉	汉	汉	汉	汉	汉	汉
例数	102	100	48	48	32	70	122	55	55	100	30
年龄(岁)	18~64	16~50	20~46	20~46	成	20~37	18~22	18~58	18~58	17~22	21~50
部位	髂骨	髂前	胸骨	胸骨	髂前	髂后上棘	髂骨	髂骨	髂前	髂前	髂后
数值	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差
原始粒细胞	0.51±0.26	0.44±0.33	0.54±0.35	0.70±0.48	0.38±0.19	0.6±0.4	0.23±0.27	0.77±0.76	0.71±0.79	0.096±0.142	
早幼粒细胞	1.82±0.82	1.32±0.61	1.31±0.74	1.17±0.46	0.91±0.42	1.3±0.64	0.60±0.58	1.68±1.05	1.65±1.00	0.584±0.632	1.01±0.71
中性粒细胞	7.25±2.26	男 7.60±2.45 女 8.55±2.39	6.11±1.67	7.79±1.81	5.78±1.64	9.3±2.94	6.93±3.89	7.36±2.70	7.26±2.68	3.520±1.870	5.85±3.7
晚幼粒细胞	11.72±2.67	13.88±3.10	8.70±1.72	11.24±2.30	8.03±1.57	15.1±2.6	8.94±2.82	10.84±2.70	10.88±2.72	16.56±4.62	7.37±2.18
杆状核粒细胞	23.30±4.01	16.36±3.97	23.20±3.00	22.78±3.50	23.31±3.04	14.8±2.66	22.88±5.00	19.63±3.70	20.53±4.26	14.18±6.25	19.19±2.75
分叶核粒细胞	11.00±3.34	15.43±4.67	9.07±1.96	6.81±2.64	9.87±3.41	14.3±4.39	11.80±4.52	15.13±3.78	14.83±4.05	14.02±7.90	11.83±4.42
中幼粒细胞	0.64±0.40	0.42±0.33	0.26±0.22	0.46±0.36	0.72±0.47	0.7±0.32	0.98±0.79	0.35±0.89	0.30±0.84	0.744±0.52	0.16±0.15
晚幼粒细胞	0.79±0.46	0.81±0.57	0.47±0.30	0.76±0.47	1.48±0.74	0.6±0.35	0.87±0.64	0.73±0.69	0.81±0.74	1.924±1.30	0.70±0.26
杆状核粒细胞	0.84±0.45	男 0.54±0.46 女 0.30±0.23	1.25±0.71	1.41±0.76	3.61±1.22		1.15±0.95	1.15±0.89	1.07±0.79	2.48±1.90	
分叶核粒细胞	1.12±0.72	男 1.87±1.86 女 0.94±0.55	0.94±0.08	0.97±0.52	2.38±1.37	0.7±0.51	2.37±1.29	2.09±1.55	1.70±1.21	3.77±2.30	0.64±0.65
嗜碱粒细胞	0.004	0.020±0.05	0.02±0.004	0.01±0.04	0.003±0.003		0.04				
晚幼嗜碱粒细胞	0.03±0.09	0.02±0.01	0.05±0.01	0.02±0.04	0.03±0.05		0.03			0.002	
杆状核嗜碱粒细胞	0.04±0.09	0.14±0.03	0.09±0.01	0.06±0.27	0.08±0.10		0.02			0.03±0.084	
分叶核嗜碱粒细胞	0.06±0.09	0.10±0.09	0.04±0.01	0.03±0.07	0.03±0.06	0.04	0.02	0.41±0.48	0.36±0.41	0.036±0.095	1.42±0.99
原始红细胞	0.40±0.29	0.20±0.16	0.48±0.36	0.43±0.43	0.30±0.17	0.67±0.42	0.33±0.25	0.58±0.74	0.58±0.66	0.166±2.21	0.2±0.19
早幼红细胞	1.26±0.65	0.79±0.56	0.72±0.41	0.68±0.34	0.58±0.29	4.13±0.13	0.99±0.53	2.34±1.43	0.466±0.38	0.466±0.38	1.43±0.63
中幼红细胞	10.16±2.99	8.36±2.45	7.23±1.88	8.56±2.28	6.60±1.56	12.1±3.58	7.87±3.30	10.40±2.91	10.44±2.66	9.74±4.08	8.43±3.26
晚幼红细胞	7.28±2.46	男 12.01±3.06 女 9.47±2.56	11.77±2.49	15.38±4.04	11.68±2.83	7.5±3.84	11.50±4.44	7.53±3.72	7.73±2.53	10.18±4.54	13.32±3.14

(续表)

地区	北京	北京	天津	天津	安徽	浙江	江西	广西	广西	四川	山西
种族	汉	汉	汉	汉	汉	汉	汉	汉	汉	汉	
例数	102	100	117	48	32	70	122	55	55	100	30
年龄(岁)	18~64	16~50	18~51	18~48	成	20~37	18~22	18~58	18~58	17~22	21~50
部位	髌骨	髌前	髌前	胸骨	髌前	髌后上棘	髌骨	髌骨	髌骨	髌前	髌后
数值	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差
淋巴细胞系统	原始淋巴		0.03±0.01	0.02±0.04	0.02±0.05						
	幼稚淋巴		0.34±0.35	0.15±0.27	0.20±0.20						
	淋巴细胞	19.01±3.35	20.32±5.94	22.71±5.87	16.09±4.98	18.77±3.99	16.93±5.02	20.53±5.89	17.28±5.49	20.60±6.94	21.80±5.48
单核细胞系统	原始单核			0.02±0.004	0.03±0.04	0.02±0.06					
	幼稚单核		0.008	0.22±0.02	0.37±0.19	0.16±0.21					
	单核细胞	0.98±0.30	1.24±0.89	2.87±1.09	2.95±1.23	3.22±0.08	0.7±0.52	0.78±0.74	1.70±1.55	0.576±0.582	2.13±1.06
浆细胞系统	原始浆细胞			0.004±0.02	0.03±0.05						
	幼稚浆细胞			0.09±0.13	0.27±0.24	0.02±0.05					
	浆细胞	0.60±0.32	0.55±0.33	0.68±0.37	0.64±0.40	0.64±0.34	0.53±0.22	0.52±0.41	0.44±0.50	0.246±0.246	0.93±0.46
其他细胞	网状细胞	0.90±0.58	0.28±0.24	0.16±0.20	0.27±0.33	0.27±0.35	0.2±0.15	0.26±0.36	0.26±0.36	0.032±0.086	0.69±0.45
	内皮细胞		0.04±0.014	0.04±0.07	0.01±0.04	0.01±0.03					
	巨噬细胞		0.01±0.04	0.05±0.08	0.04±0.07	0.90±0.12		0.02			
	巨核细胞	0.15±0.19	0.03±0.05	0.03±0.08	0.002±0.01	0.05±0.07		0.06		0.032±0.09	
	组织嗜碱细胞		0.002	0.03±0.08	0.002±0.01	0.05±0.07					0.01±0.03
	脂肪细胞		0.002	0.003±0.01	0.002±0.04					0.002±0.07	
	分类不明细胞	0.20±0.20	0.02±0.06	0.12±0.14	0.02±0.04	0.03±0.06		0.04		0.024±0.07	

注:粒细胞/有核红细胞=2.052至3.31。

二、淋巴系统

淋巴系统由淋巴管、淋巴组织、淋巴器官和散在的淋巴细胞所组成。淋巴管内流着无色透明的淋巴液,淋巴管在走行中通过一定的淋巴结,淋巴结不仅有滤过淋巴的机能,而且它和胸腺,脾等淋巴器官及上皮下淋巴组织一起产生淋巴细胞,参与机体的免疫机能,构成机体的免疫系统。

1. 淋巴细胞

淋巴细胞是白细胞的一种,直径大约 $6\sim 8\mu\text{m}$,原始及幼稚的淋巴细胞较大,但数量较少。淋巴细胞占白细胞总数的 $20\%\sim 25\%$ 。淋巴细胞总重量男 1500g ,女 1200g ,其分布与出生后年龄的关系,见表 6.9。

一般把淋巴细胞分为两类:短存活时间类,平均存活几天;长存活时间类,平均存活数月至一年以上。实验表明淋巴结皮质,淋巴结周围,血液和胸导管的大部分淋巴细胞为长存活时间的淋巴细胞,而胸腺,骨髓和生发中心的淋巴细胞主要是短存活时间的淋巴细胞。

淋巴结构中有些淋巴细胞似乎是“固定的”,意即它们不再进入循环,但为淋巴结构的一部分。除胸腺和骨髓的淋巴细胞不能再进入循环外,其余部分的淋巴细胞在血液,组织间和淋巴系统之间循环。淋巴细胞从血液徙移到淋巴组织,再回到血液的一个循环周期大约数小时。估计再循环池的大小是血液循环池的 $2\sim 30$ 倍。

2. 淋巴管

可分为毛细淋巴管、淋巴管、淋巴干和淋巴导管。毛细淋巴管以稍膨大的盲端起于组织间隙,彼此吻合成网。毛细淋巴管具有比毛细血管更大的通透性,一些不易通过毛细血管的物质如,脂肪、蛋白质、细菌、异物和癌细胞等可以进入毛细淋巴管。毛细淋巴管汇合成淋巴管,淋巴管的形态结构与静脉相似,但特点是在向心行程中与淋巴结通连,即身体各部位和各器官的淋巴管都注入附近的淋巴结,然后由淋巴结走出并汇合成更粗大的淋巴管-淋巴干,最终经过淋巴导管和胸导管而入静脉。

表 6.9 淋巴细胞总重量和分布与出生后年龄的关系^[5]

年龄,岁	体重,kg	淋巴细胞*				
		重,g	分 布,%			
			红骨髓	脾、淋巴结等	血液	造血组织之外
0.1	4.4	150	4.9	16.3	0.3	78.4
0.25	5.74	365	4.7	15.8	0.3	79.2
0.5	7.98	650	3.1	11.6	0.2	89.1
0.75	8.91	650	3.1	11.6	0.2	85.1
1	10	650	3.1	11.6	0.2	85.1
6	20.5	650	3.1	11.6	0.2	85.1
8	23.9	700	3.2	11.1	0.2	85.5
10	32	900	4.3	9.4	0.2	86.1
15	54.2	1250	5.9	7.5	0.2	86.4
成人 男	70	1500	6.3	6.7	0.2	86.5
女	60	1200	7.6	7.2	0.2	84.9

* 这些值变异系数为 50%。

3. 淋巴组织

淋巴组织是由淋巴细胞和网状结缔组织构成的一种特殊组织,即网状细胞和网状纤维构成网状支架,网眼中含有大量淋巴细胞和一些巨噬细胞。淋巴组织在人体内的分布很广,约占人体体重的1%。它参与构成淋巴结,脾,胸腺和扁桃体等淋巴器官并广泛的分布于消化道,呼吸道,泌尿生殖器的粘膜,以及静脉和淋巴管的内皮下。

4. 淋巴器官

主要由淋巴组织构成,包括淋巴结,脾,胸腺,腔上囊类同器官和扁桃体等。根据其发生和机能不同,可分为中枢淋巴器官,如胸腺、腔上囊类同器官;周围淋巴器官,如淋巴结、脾、扁桃体等。中枢淋巴器官发育较早,是原始造血干细胞增殖、分化成T淋巴细胞、B淋巴细胞,并向周围淋巴器官输送这些细胞的场所。周围淋巴器官,发育较迟,其淋巴细胞最初是由中枢淋巴器官迁移而来,并在抗原作用下发生增殖和进行免疫反应的重要场所。

(1)胸腺 胸腺是一个中枢淋巴器官,位于胸腔上纵隔的前部。成人胸腺位于胸骨柄后方的疏松结缔组织中,可分为大小不等的左右两叶,每叶都是扁条状或锥形,其大小因年龄而异。在胚胎后期和新生儿胸腺增长速度快,两岁时为10~15g,是胸腺相对重量最大时期。以后随年龄增长,继续增大,至青春前期可达30~40g。青春期后胸腺开始退化萎缩,逐渐被脂肪组织代替,至60岁胸腺仅14~20g。中国成年人(20~50岁)胸腺重量参考值(男30g,女27g);与日本参考人的值(男31g,女30g)接近,重于ICRP参考人的值(男,女均为20g)。

(2)淋巴结 圆形或椭圆形小体,大小不等,多集合成群。淋巴结的数目较多,成年人约为300~600个,总重量约为200~300g,并沿血管周围分布^[6]。常见于身体的凹窝或较为隐蔽的部位,如腋窝、腘窝、腹股沟部以及胸、腹、盆腔脏器的“门”和大血管的附近。

(3)脾 脾是最大的淋巴器官,具有滤血、造血,贮血以及参与免疫反应等多种功能。其形状、位置、大小和重量及各年龄的重量参考值已在第三、第四章中描述。

五、血液、红细胞、白细胞、血小板及血浆总体水平

1. 全血容量

(1)全血特性 血液既是机体细胞直接生活的内环境,同时又是机体与外环境进行物质交换的媒介。血液的比重约为1.050~1.060,血液的粘滞性通常是在体外测定血液与水相比的相对粘滞性,全血的相对粘滞性一般为4~5,全血粘滞性主要决定于所含的红细胞数。表6.10列举了我国郑州地区正常人全血粘度正常值^[7]。

表 6.10 郑州地区正常人男、女不同年龄全血粘度(比)^[7]

全血 粘度(比)		20岁~		31岁~		41岁~		51岁~	
		男	女	男	女	男	女	男	女
高切	$\bar{x} \pm 2s$	6.43±1.70	5.20±1.62	6.51±1.58	5.03±2.44	6.65±0.84	5.82±3.54	6.96±1.16	5.94±2.16
	P值	P<0.01		P<0.01		P>0.05		P<0.01	
低切	$\bar{x} \pm 2s$	10.31±4.36	7.41±2.86	10.68±3.38	7.72±4.26	10.22±4.28	8.57±4.12	11.18±3.38	8.72±4.62
	P值	P<0.01		P<0.01		P>0.05		P<0.01	

(2)全血组成 全血由三部分组成,其基本成分是一种晶体物质溶液,溶解了多种电解质,小分子有机化合物(营养物质、代谢产物和少量的激素等)及一些气体。血液的另一组成成分是溶解于这一晶体物质溶液中的血浆蛋白。应用电泳法可将血浆蛋白分为白蛋白,前白蛋白, α_1 , α_2 , α_3 , β -, γ -球蛋白及纤维蛋白原等。血液第三组成成分是悬浮于血浆中的血细胞。血细胞可分为红细胞、白细胞及血小板三类。

2. 全血容量与红细胞及血浆容量间关系

全血容量是人体内血液的总量,为血浆量及血细胞量的总和;但是,除红细胞外,其它血细胞数量很少,常可以忽略不计。血浆量和红细胞量均可以按稀释原理分别测定。如可由静脉注射一定量的大分子染料(通常用 T1824)或 ^{131}I 标记的血浆蛋白,待与体内血浆混匀后,再抽血测定 T1824 或 ^{131}I 被稀释的倍数,即可计算出血浆量。同样,可由静脉注射一定量用 ^{51}Cr 或 ^{32}P 标记的红细胞,待与体内红细胞混匀后,抽血以测定标记红细胞稀释的倍数,即可计算出红细胞总量。全血容量与年龄、性别、妊娠都有关系。婴儿血量相对较多;相同身高的女性较男性血量约少 1000mL 左右;妊娠开始后每月血浆量增加约 100mL,妊娠后 3 个月红细胞容量亦增加。一些学者发现身高、体重、体表面积与全血容量均有一定关系。从大量正常人的统计中,曾得到一些数据或经验公式。正常成年人的全血总量约相当于体重的 8%或相当于每千克体重 60~80mL,其中血浆量为 40~50mL。

根据国内资料,正常成年人全血容量列于表 6.11。

3. 红细胞

(1)红细胞特性 正常红细胞呈双凹陷圆碟形,平均直径约为 $8\mu\text{m}$,周边稍厚。此种形状极有利于其运输气体及保持良好可塑性变形。

将与抗凝剂混匀的血液静置于一支小玻璃管中,红细胞由于比重较大,将因重力而下降。通常以红细胞在 1 小时内下沉的距离来表示红细胞沉降的速度,称为红细胞沉降率(简称血沉率,ESR)。由于正常情况下,红细胞呈双凹碟形,表面积与体积之比较大,因而所产生的摩擦力也大,其沉降十分缓慢。正常男性 ESR 第 1 小时不超过 3mm,女性不超过 10mm。红细胞下降缓慢,说明它有一定悬浮稳定性,ESR 愈小,说明其稳定性愈大。在某些病理状态下,因红细胞缗钱形成时,可致 ESR 增高,同时亦可使全血粘滞度增大。

表 6.11 我国正常成年人全血容量,血浆量及红细胞量^[8,9]

性别	年龄,岁	全血容量,L/kg	血浆量,L/kg	红细胞量,%	测定方法
男	20~43	0.0808	0.0495	39.6	^{131}I 化血红蛋白法
女	16~42	0.0752	0.0482	36.2	^{131}I 化血红蛋白法
男	23~43	0.0804	0.0465	42.4	T1824 法
女	21~45	0.0720	0.0473	33.9	T1824 法

(2)红细胞成分 红细胞是血液中最多种的一种血细胞,正常男性血液中红细胞数平均约 $5.00 \times 10^{12}/\text{L}$,女性较少,平均约 $4.20 \times 10^{12}/\text{L}$ 。红细胞含有血红蛋白,因而使血液呈现红色。我国部分地区正常成年人红细胞及血红蛋白的测定值列于表 6.12。

表 6.12 我国部分地区正常成年人红细胞及血红蛋白测定值^[8~9]

地区	种族	年龄,岁	性别	例数	红细胞, $\times 10^{12}/L$	血红蛋白,g/L
北京	汉	—	男	517	4.147 ± 0.475	137.0 ± 13.1
			女	584	3.830 ± 0.485	127.0 ± 12.8
天津	汉	16~60	男	555	—	139.7
			女	451	—	127.1
河北	汉	17~22	男	753	4.639 ± 0.377	149.5 ± 14.7
			女	475	4.262 ± 0.372	136.0 ± 14.4
沈阳	—	—	男	457	5.054	148.1
			女	283	4.576	136.6
福建	汉	18~64	男	178	4.550 ± 0.465	139.0 ± 10.9
			女	149	4.120 ± 0.451	128.7 ± 12.9
甘肃	汉	13~60	男	1181	5.052 ± 0.556	146.5 ± 13.6
			女	849	4.598 ± 0.518	130.6 ± 10.4
宁夏	汉	18~50	男	159	4.582 ± 0.729	143.8 ± 20.0
			女	237	4.258 ± 0.686	131.3 ± 19.3
四川	汉	20~30	男	156	5.188 ± 0.483	149.5 ± 11.2
			女	164	4.560 ± 0.410	134.0 ± 10.9
青海	藏	20~55	男	80	5.820	168.0
			女	75	5.300	157.0

红细胞中每一种成分的含量可用它的体积、血红蛋白克数,或细胞表面面积(cm^2)的函数表示。每升(L)红细胞中水分含量为(721.0 ± 17.3)g(每克基质 0.230g);每 L 红细胞中总蛋白含量为 371g(每克基质 0.465g),其中非血红蛋白蛋白质为 9.2g,不溶性基质蛋白质及酶性蛋白质分别为 6.3g 及 2.9g;每 L 红细胞中总脂含量为(5.10 ± 0.51)g[每克血红蛋白(0.01545 ± 0.00154)g],其中磷脂(0.00298 ± 0.0002)g,缩醛磷脂 0.00056g;每 L 红细胞中总胆固醇(未酯化)、脂肪酸及其它脂类含量分别为(0.00120 ± 0.00008)g[每克血红蛋白(0.00363 ± 0.00021)g]、0.00200g(每克血红蛋白 0.00606g)、(0.00092 ± 0.00018)g[每克血红蛋白(0.00278 ± 0.00054)g]。

4. 白细胞与血小板

白细胞是血中最少的一种血细胞,正常人血液中白细胞数平均约 $6.0\times 10^9/L$ ($4.0\sim 10.0\times 10^9/L$),它分为粒细胞(约占 70%),单核细胞(约占 2%~8%)及淋巴细胞(约占 20%~30%)。白细胞在机体免疫功能中有重要作用;血小板是最小的血细胞,正常人血液中血小板数为 $100.0\sim 300.0\times 10^9/L$,它是生理止血功能所不可缺少的。我国部分地区正常成年人白细胞及其分类,以及血小板测定值列于表 6.13。

5. 血浆

(1)血浆容量 详见表 6.11。

(2)血浆特性 血浆密度约为 1.025~1.030,其粘滞性主要决定于血浆蛋白质的含量,血浆渗透压约为 313mmol/L,相当于 7 个大气压或 7.08kPa(5330mmHg),血浆的渗透压主要来自溶解于其中的晶体物质,特别是电解质,称为血浆晶体渗透压;血浆中虽含有多量蛋白质,但蛋白质分子量大,所产生的渗透压甚小,不超过 1.5mmol/L,约相当于 3.3kPa(250mmHg),称为血浆胶体渗透压,但其对于维持血管内外水平衡有重要作用。正常人血浆的 pH 值约为 7.35~7.45,平均值为 7.41,血浆 pH 值主要取决于血浆中的缓冲对,即 $\text{NaHCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$ 的比值,

表 6.13 我国部分地区正常成年人白细胞及其分类以及血小板测定值^[8,9]

地区	种族	年龄, 岁	性别	例数	白细胞, $\times 10^9/L$	分类, %						血小板, $\times 10^9/L$
						S	N	E	B	L	M	
北京	汉	—	男	517	7.30±2.12	3.0±1.0	64.2±8.7	2.1±2.6	0.05±0.24	24.4±8.4	2.5±2.2	153.40±63.0
			女	584	6.60±1.85	—	—	—	—	—	—	—
天津	汉	16~60	男	555	6.07±2.15	—	54.7±10.0	3.8±7.7	0.49±1.67	36.7±10.0	4.21±2.77	—
			女	451	6.20±1.30	—	—	—	—	—	—	—
河北	汉	17~22	男	753	7.60±1.32	—	—	—	—	—	—	—
			女	584	6.60±1.85	—	—	—	—	—	—	155.3±61
沈阳	—	—	男	457	7.139	—	61.35	2.08	0.08	31.29	4.13	—
			女	283	7.139	—	—	—	—	—	—	—
山东	汉	—	男/女	100	—	—	—	—	—	—	—	148.5±31
安徽	汉	—	男	124	7.60±2.07	15.9±7.1	33.9±9.4	10.1±5.0	0.52±0.53	30.0±9.9	4.21±2.05	147.7±34
			女	33	7.11±1.85	16.3±7.6	34.9±9.9	8.5±5.0	0.62±0.68	30.3±13.0	4.21±2.05	155.5±44
上海	汉	18~35	男	149	6.14±1.55	1.0±1.6	60.5±9.6	3.4±3.4	0.53±0.62	30.4±8.1	5.49±2.68	197.6±56
			女	161	—	—	—	—	—	—	—	—
福建	汉	18~64	男	178	6.38±1.71	2.2±1.3	58.5±7.8	6.1±3.2	0.31±0.41	30.1±7.3	4.21±2.43	—
			女	149	6.43±1.82	—	—	—	—	—	—	—
甘肃	汉	13~60	男	1181	7.57±1.62	—	61.9±7.5	3.8±3.5	0.89±0.33	33.1±7.0	2.63±1.34	212.0±56
			女	849	7.57±1.66	—	—	—	—	—	—	228.0±58
宁夏	汉	18~50	男	159	6.74±2.53	2.7±3.3	55.9±8.6	4.8±4.1	0.82±0.88	30.6	9.0	—
			女	237	6.58±2.54	2.0±3.3	56.4±8.5	—	—	30.2	8.7	—
四川	汉	20~30	男	156	7.27±1.98	8.4±4.3	53.0±8.2	6.6±4.4	0.40±0.58	28.3±6.4	4.71±3.12	—
			女	164	7.06±1.57	8.4	53.1±7.9	6.1±4.4	0.48±0.65	28.6±5.9	4.57±2.77	—
青海	汉	20~55	男	192	8.30	—	59.4	1.8	0.25	35.8	2.7	—
			女	80	8.45	—	54.6	1.4	0.10	41.5	2.4	—
青海	藏	20~55	男	80	8.21	—	64.9	1.8	0.13	30.6	2.5	—
			女	75	8.85	—	59.6	1.3	0.13	36.8	2.0	—

注: S 为中性杆状核粒细胞; N 为中性分叶核粒细胞; E 为嗜酸性粒细胞; B 为嗜碱性粒细胞; M 为单核细胞。

次要的缓冲系统有 Na-蛋白质/H-蛋白质及 $\text{Na}_2\text{HPO}_4/\text{NaH}_2\text{PO}_4$, 通常 $\text{NaHCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$ 的比值为 20。

(3) 血浆组成 血浆含水量为 710~920g/L, 血浆中重要电解质成分包括钠、氯、碳酸氢根离子; 前已述及, 血浆中含有多多种蛋白质成分, 表 6.14 列举了我国部分地区(北京、武汉及广州)正常人血浆免疫球蛋白 G, A, M 含量(IU/mL)。

表 6.14 我国部分地区正常人血浆 IgG, A, M 含量(IU/mL)^[10]

分组	IgG		IgA		IgM	
	男	女	男	女	男	女
儿童组	142.8±26.5	147.7±36.0	111.0±38.9	101.9±49.6	189.5±70.0	215.5±74.5
老年组	187.6±38.5	157.7±35.2	174.7±62.9	154.6±54.9	184.1±93.4	197.9±74.3
成年组	172.8±28.2	184.7±35.2	153.3±69.7	156.9±61.9	183.7±73.9	227.7±100.1

血浆中还含有其它无机物和有机物, 包括氧、二氧化碳、糖类、脂酸、中性脂肪、胆固醇、氨基酸、尿素、尿酸、肌酸、肌酐、乳酸、酮体、激素、维生素等多种生物活性物质。

(杨崇礼 陈辉树 郑以州)

参 考 文 献

- 1 ICRP. ICRP Publication 70. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: The skeleton. Oxford: Pergamon Press, 1995
- 2 Tanaka G, Kawamura H. Anatomical and physiological characteristics for Asian reference man. NIRS-M-115, 1996
- 3 杨崇礼, 宋增璇, 齐淑玲, 等. 骨髓的构造及其对造血的影响. 天津医药, 1980, 8: 51
- 4 王凤计, 血细胞学图谱. 第一版. 天津: 天津科技出版社, 1980. 10
- 5 ICRP. ICRP Publication 23. Report of the task group on reference man. Oxford: Pergamon Press, 1975
- 6 王云祥. 实用淋巴系统解剖学. 北京: 人民卫生出版社, 1984. 40
- 7 杨大方, 万震, 种平, 等. 郑州地区血液流变学指标正常值的测定. 中华医学检验杂志, 1989, 12(1): 52
- 8 周衍椒, 张镜如主编. 生理学. 第二版. 北京: 人民卫生出版社, 1987. 58
- 9 邓家栋主编. 临床血液学. 第一版. 上海: 上海科学技术出版社, 1985. 26
- 10 余模松, 董之昌, 占继华, 等. 464 份健康人血清免疫球蛋白 G、A、M 含量的测定. 中华医学检验杂志, 1983, 6(4): 218

第七章 膳食组成和食品消费量

各国卫生标准制定和卫生学评价通常需要依据国人各种参数,除解剖参数外,还有各种生理参数和代谢参数(如膳食组成和食品消费量,营养素、元素与放射性核素的摄入量等)。为了以共同的生物学基础处理问题,使群体间有可比性,在放射卫生领域定义为“参考人”,而在营养与食品卫生领域通常称为“标准人”,都是指从事极轻体力劳动的成年男子。为使这些数据符合不同国家国情,各国应依据本国调查资料建立本国参考人(或标准人,下同)参数。

研究膳食组成和食品消费量的目的在于估算营养素、元素和放射性核素的摄入量,人群摄入量估算一般是基于膳食中各类食品消费量及其烹调后食物中这些成分的含量。采用烹调后食物可真实反映烹调加工对含量的影响,使摄入量估算更符合实际。

本章将介绍膳食组成和食品消费量的研究方法;回顾我国居民膳食组成的变化,推荐出当前中国参考人膳食组成,阐述我国居民膳食组成的性别、年龄、地区、城乡、季节等影响因素;并通过国际比较来说明其特点。

一、研究方法

1. 资料来源

膳食组成是各类主要食品消费量的相对比较,通常以烹调前各类食品(可食部分)的重量百分比来表示。膳食组成一般通过食品消费量来估算。ICRP 第 23 号出版物曾介绍过膳食组成估算的两种资料来源^[1]:

(1)家庭调查 这种方法得出的消费量是人均消费量,该出版物引用了英、美和欧共同体资料来比较了国际膳食差异。当时认为,即使调查人群的年龄结构弄清楚的情况下也难以阐明平均摄入量和成年人或其它个体消费量的相关性。这种研究方法经完善后已成为我国全国性资料主要来源。

(2)全国食品供应量 这种方法可用来估算国人平均消费量,尽管这种方法易开展,但包括了未被人们消费的食品和未包括家庭自产而被消费的食品。

1985 年世界卫生组织(WHO)在其化学污染物膳食摄入量研究指南中指出,获取人群或个体膳食习惯有两种途径:收集地区或家庭食品收支的推论资料及收集个体或家庭消费的实际量的直接个人资料。方法的选择应取决于年龄、教育水平、调查目的、代价和可用资源。对公众消费模式最好应推自当时的全国食品消费量调查,大多以家庭为单位,调查人口应与人口资料相一致,有足够数量以保证其代表性^[2]。

2. 我国开展的全国性调查及所用方法

自 1959 年以来,我国共开展过 3 次全国营养调查,1990 年和 1992 年又开展了 2 次全国总膳食研究。其中,1959 年第一次全国营养调查正值严重自然灾害异常时期,调查结果未予公开发表,而 1992 年总膳食研究作为 1990 年总膳食研究的补充,仅在四省市开展了性别、年龄组和季节差异的典型调查,对全国则沿用了 1990 年膳食组成和按新采样品分析结果作了摄入

量的更新估算。

(1)第二次全国营养调查(1982年) 调查分为居民家庭调查和不同类型人群调查两部分,家庭调查是了解我国居民膳食及营养水平,其结果代表全民。该调查采用了双阶分层整群随机抽样方法。双阶就是在1979年全国结核病流行病学调查分层整群抽取的888个随机调查点中选取了178个调查点,分层是按不同质进行,尽可能保证代表性,缩小抽样误差和了解层内情况。主层是各个省、市、自治区,各副层选择保证采样点均匀分布于富裕、中等及贫穷地区。采样点数按该层人口、地理条件及可能调查力量确定。每点内选取30~50户作为调查对象。调查范围包括除西藏、台湾和浙江以外的全国各地区,实际调查了172个调查点,调查人口共48154人,男女性比1.0033:1,其年龄性别构成符合1982年全国人口普查10%抽样资料。

食品消费量调查采用称重记账法,共调查五天。调查人员每日逐户访问、称重和登记(包括家庭外吃的零食或添加食品)。

调查结果先按称重和登记结果获得各户人日数和各类食物的实际消费量,然后算出平均

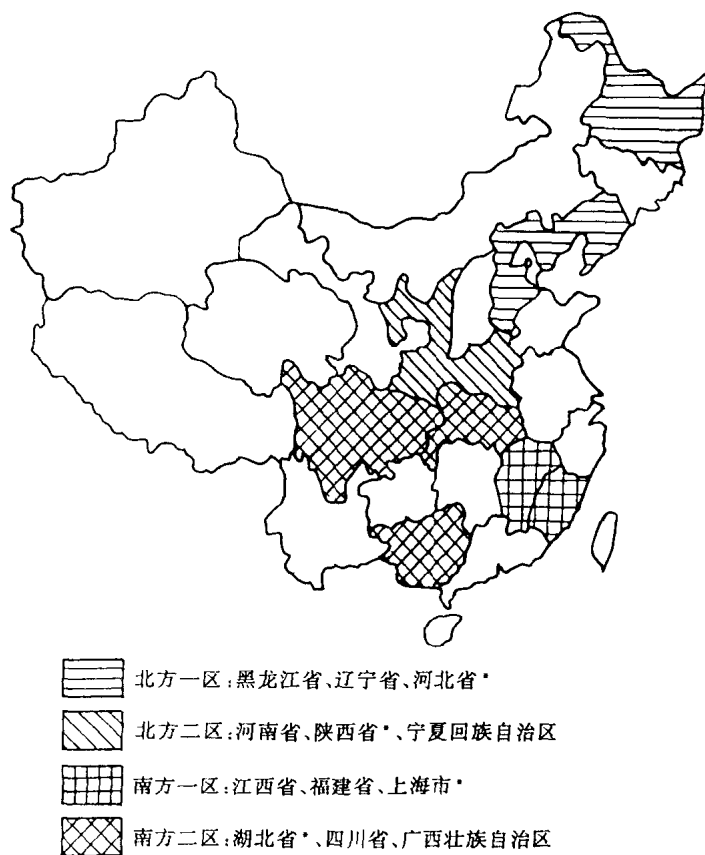


图 7.1 中国总膳食研究地区划分

图中未标出南海诸岛,带*为1992年典型调查的省(直辖市)

每人的日消费量。为了反映平均人日消费量中不同生理状况和劳动强度的影响,采用了折合成年男子混合系数的校正。它是一个团体内人们的性别、年龄等生理及劳动状况的总度量,即根据营养素供给量标准,以极轻体力劳动的成年男子(相当于辐射防护领域的参考人)热能供给量 2400 千卡作 1,计算出该调查单位中不同年龄、性别、劳动和生理状态的人们热能供给量,再折合成成年男子的份额。由平均每人日食物消费量除以折合成年男子混合系数,即得平均每一折合成成年男子各种食物的日消费量^[3]。

(2)全国总膳食研究(1990 年) 根据地理位置、饮食习惯和烹调方法差异,将全国划分为四个大区,在每个大区内选择三个省、市、自治区(图 7.1),在这些省、市、自治区各选出三个能代表当地食物消费情况的调查点(两个为农村点、一个为城市点),共选出 12 省、市、自治区的 36 个调查点。在每个调查点随机抽取 30 户(全国共 1080 户),采用三日称重记账法进行膳食调查。同时记录食谱和各种主、副食的烹调方法。以每个省、市、自治区为单位,用第二次全国营养调查的相同方法计算出每个标准人(即折合成成年男子)各种食物平均消费量,从而确定各省、市、自治区的膳食组成^[4]。

(3)第三次全国营养调查(1992 年) 抽样方法采用分层多级整群随机抽样,是全国性家庭抽样调查。各省(区)分别为一总体,参照国家统计局城、乡调查队抽样系统首先按城、乡分层,城市再分大、中、小和镇四个子层,农村按经济情况分为若干子层。选用四级抽样方案,最终



图 7.2 1992 年全国营养调查样本点分布
图中未标出南海诸岛。●代表调查点;ND 代表未调查。

全国 30 个省(区)市(不含台湾省)共抽取一级单位 225 个,共约 27000 户。城市和农村住户分别约占 1/3 和 2/3(见图 7.2)。

膳食调查采用称重记账法调查住户 3 天的食物消费量,并记录家庭成员的用餐情况,算出家庭平均每人每日各类食物消费量。同时对家庭每一成员进行 24 小时回顾调查,连续 3 天,取得每一个体的进食量。根据家庭成员的年龄、性别及劳动状况换算成每标准人每日平均的各类食物消费量。这次共调查全国城乡居民 25033 户,共 99749 人,包括了 20 多个民族,调查对象的性别、年龄分布与 1990 年全国人口普查结果相当一致(见图 7.3),表明取样有较好的代表性^[5]。

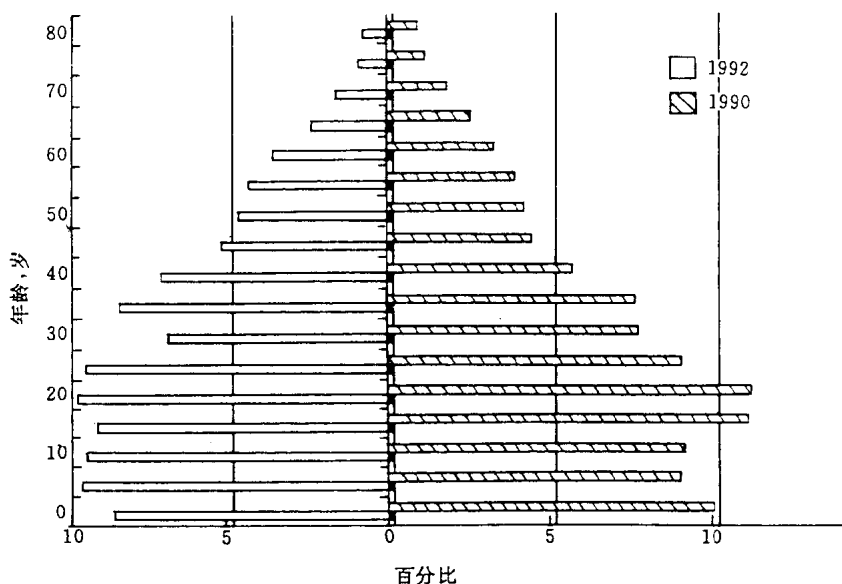


图 7.3 1992 年全国营养调查抽样人群与 1990 年全国人口普查年龄构成比较

二、中国参考人的膳食组成和食品消费量

1. 参考人膳食组成和食品消费量推荐值

1992 年的第三次全国营养调查是最近的一次,所得全国标准人的平均食品消费量可认为是推荐我国参考人膳食组成和食品消费量的最新依据。对于饮料及水由于该调查未包括,只能采用 1990 年总膳食研究全国平均值。现将这些食品消费量及由此计算出的膳食组成列于表 7.1^[4,5],作为对参考人的相应推荐值。

2. 我国膳食组成的变迁及趋势

将 3 次全国性膳食调查所得标准人各类食品消费量经适当归并后比较于表 7.2。

表 7.2 所示近年来我国膳食组成调查结果呈现出大致一致的变化趋势:薯类和谷类消费量明显下降,1990 年比 1982 年分别下降 49.9% 和 10.9%,1992 年则比 1982 年分别下降了 46.9% 和 11.7%;蔬菜类、动物油、酱油和盐消费量变化不大;1992 年比 1982 年消费量明显增

长的食品按增量多少次序依次是水产品、植物油、水果类、奶类、蛋类和肉类,这些食品在 1990 年总膳食研究中也呈现类似的增长。这种变化显示出我国居民膳食组成渐趋合理,质量逐步改善的趋势^[3~5]。

表 7.1 参考人膳食组成推荐值(g/人)

食品种类	日消费量,g/人	膳食组成,%	食品种类	日消费量,g/人	膳食组成,%
谷类 米及其制品	226.7		肉类 猪肉	37.1	
面及其制品	178.7		其它畜肉	8.9	
其它谷类	34.5		动物内脏	4.0	
小计	439.9	27.1	禽肉	8.9	
薯类	86.6	5.3	小计	58.9	3.6
豆类 干豆类	3.3		油脂类植物油	22.4	
豆制品	7.9		动物油	7.1	
小计	11.2	0.7	小计	29.5	1.8
蔬菜类 深色	102.0		饮料及水	512.1	31.6
浅色	208.3		酒类	1.8	0.1
腌菜	9.7		糖和淀粉	4.7	0.3
小计	320.0	19.7	调味品 食盐	13.9	
水果类 鲜果	49.2		酱及酱油	12.6	
干果	3.1		小计	26.5	1.6
小计	52.3	3.2	糕点类	7.1	0.4
奶及其制品	14.9	0.9	其它	11.5	0.7
蛋及其制品	16.0	1.0	合计	1620.5	100.0
水产类	27.5	1.7			

表 7.2 中国标准人各类食品消费量变迁[g/(人·d)]¹⁾

食品	1982 年		1990 年		1992 年	
	27 省、市	12 省、市 ²⁾	12 省、市	比 1982 年增量,%	29 省、市	比 1982 年增量,%
谷类	498	517.6	461.4	-10.9	439.9	-11.7
豆类	14.9	15.1	39.5	+161.6	11.2	-24.8
薯类	163	201.4	101.0	-49.9	86.6	-46.9
肉类	42.3	27.0	48.9	+81.1	58.9	+39.2
蛋类	9.7	5.7	17.1	+200.0	16.0	+64.9
乳类	9.0	2.6	11.0	+323.1	14.9	+65.6
水产类	11.8	11.6	22.9	+97.4	27.5	+133.0
蔬菜类	311.7	342.7	323.9	-5.5	320.0	+2.7
绿色	74	95.6	37.6	-60.7	102.0	+37.8
浅色	224	247.1	286.3	+15.9	208.3	-7.0
腌菜	13.7	—	—	—	9.7	-29.2
水果类	28.0	29.3	101.2	+245.4	49.2	+75.7
淀粉和糖	8.7	4.4	3.4	-22.7	4.7	-46.0
饮料和水	—	—	512.1	—	—	—
酒类	3.0	3.8	14.0	+268.4	1.8	-40.0
植物油	12.0	11.6	24.8	+113.8	22.4	+86.7
动物油	6.0	4.5	6.1	+35.6	7.1	+18.3
盐	11.2	13.8	12.2	-11.6	13.9	+24.1
酱油	12.8	10.0	11.3	+13.0	12.6	-1.6

注:1)引自文献[3~5];2)均为中国总膳食研究调查的 12 个省、市、自治区数据。

三、我国膳食组成的性别年龄组差异

1. 性别年龄组差异的重要性

ICRP 第 23 号出版物限于当时资料缺乏,只推荐了成年男子参考人的有关参数,但指出了一旦出现可用资料,参数应包括不同性别和年龄组。其后,在第 26 号出版物中又指出,在计算公众由摄入放射性核素所致剂量时必须考虑儿童的代谢特征和器官大小。近年对公众辐照及剂量年龄依赖关系的研究表明,婴儿和儿童的剂量系数(每摄入单位活性物质所致组织待积当量剂量或全身待积有效剂量, $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$)常比成人大得多^[6,7]。

公众成员摄入放射性核素的年龄依赖剂量是近年来 ICRP 的热门话题之一,其起端可追溯到 1987 年 3 月,ICRP 在其第二委员会成立了年龄依赖剂量工作组(现已更名为内剂量学工作组),该工作组承担了对选定元素的放射性核素建立剂量学和生物动力学模式的任务,与剂量计算工作组合作,迄今陆续公布了第 56,67,69 和 72 号出版物。其第 72 号出版物作为总的编集对共计 91 种元素的放射性核素都给出了公众成员的剂量系数(食入和吸入)。其采用的年龄组划分为:3 月(0~1 岁)、1 岁(1~2 岁)、5 岁(2~7 岁)、10 岁(7~12 岁)、15 岁(12~17 岁)和成人(大于 17 岁),详情可参阅相应文献^[8]。为建立完善的我国参考人参数,应收集有关年龄组的相应膳食组成和食品消费量资料。

2. 我国不同年龄组人口膳食组成差异

1982 年第二次全国营养调查中曾对学龄前托幼单位和小学生进行过各类食物消费量调查,托幼单位年龄段为 2~6 岁,小学生大致在 7~12 岁^[3]。在 1992 年第二次全国总膳食研究中,在不同膳食习惯的 4 省(市)专门开展了不同年龄组人群膳食组成的典型调查^[9]。现将在这两次调查中河北、陕西、湖北及上海市所得各年龄组的平均食品日消费量示于表 7.3。

表 7.3 四省市不同年龄组各类食品日消费量(g/人)

食物种类	2~7 岁			8~12 岁			20~50 岁男子		20~50 岁女子	
	1982 年	1992 年	膳食组成, %	1982 年	1992 年	膳食组成, %	1992 年	膳食组成, %	1992 年	膳食组成, %
谷类	183.75	237.69	22.5	343.0	367.19	25.2	657.45	30.7	448.72	26.5
豆类(包括坚果)	17.28	28.36	2.7	19.5	34.34	2.4	41.56	1.9	34.06	2.0
薯类	62.00	26.51	2.5	15.0	54.98	3.8	49.23	2.3	41.16	2.4
肉类	62.42	34.01	3.2	54.7	43.52	3.0	49.44	2.3	37.81	2.2
蛋类	18.15	7.34	0.7	33.2	11.49	0.8	12.99	0.6	10.16	0.6
水产类	6.70	25.43	2.4	35.6	17.93	1.2	22.97	1.1	20.40	1.2
乳类	19.85	32.85	3.1	32.4	37.71	2.6	15.87	0.7	9.12	0.5
蔬菜类	93.55	152.71	14.5	252.7	221.24	15.2	305.47	14.3	275.78	16.3
水果类	64.15	24.55	2.3	0.0	36.43	2.5	34.52	1.6	51.48	3.0
糖类	17.40	2.00	0.2	17.2	1.95	0.1	2.39	0.1	2.02	0.1
饮料和水	—	484.40	45.9	—	626.95	43.1	929.57	43.5	762.52	45.0
酒类	0.05	0.00	0.0	2.7	0	0.0	16.40	0.8	0.10	0.0
合计	545.30	1055.83	100.0	806.3	1453.73	100.0	2138.86	100.0	1693.33	100.0

由表 7.3 中 1992 年调查结果可见,总食品消费量以成年男子最高,其后依次为成年女子、8~12 岁组和 2~7 岁组,这四个年龄组各类食品(饮料、水和酒类除外)总日消费量之比为 1:0.78:0.69:0.48,而其它两类液体食物消费量也呈相同递减顺序,日消费量之比相应为 1:0.81:0.66:0.51。从四个年龄组的膳食组成来看,饮料和水最大,其后依次为谷类和蔬菜,其它均只占 4% 以下。进一步分析可见动物性食品和豆类食品所占消费份额均是两个儿童组大于成人组^[9]。

尽管 1992 年和 1982 年两次调查方法和对象不完全一致,尤其是 1982 年 8~12 岁组资料只来自上海市调查结果,但总的来看两次结果比较显示了类似膳食组成和反映膳食质量优化的趋势。

四、影响膳食组成的其它因素

1. 地区差异

我国幅员辽阔,各地自然条件、膳食习惯、经济发展和人民生活水平不同。现将 1992 年全国第三次营养调查所获各省市标准人食品日消费量比较于表 7.4^[5]。

表 7.4 各省市标准人食品日消费量比较(g/人)

种类	北京	天津	河北	山西	内蒙古	吉林	黑龙江	上海	江苏	浙江	安徽	福建	江西	山东
米及制品	143.3	126.1	64.2	43.0	60.5	312.3	247.4	350.7	297.6	417.1	306.2	358.9	444.0	32.3
面及制品	237.5	279.8	294.5	304.4	264.0	84.7	135.6	35.1	81.3	30.2	251.4	30.8	14.1	398.0
其它谷类	14.5	24.1	135.1	109.0	103.5	75.5	28.1	2.0	43.5	7.0	11.1	0.5	9.5	49.5
薯类	37.2	45.8	48.5	136.9	109.4	81.2	74.2	16.8	69.8	55.8	181.2	105.3	79.5	84.1
干豆类	1.0	0.9	2.5	1.1	2.1	0.6	0.2	1.0	2.7	7.4	5.7	4.5	2.7	6.2
豆制品	11.1	5.5	4.1	6.8	6.2	9.1	6.3	12.0	18.8	17.6	8.0	8.1	9.3	12.9
深色蔬菜	80.0	49.0	78.7	31.0	14.6	34.2	33.9	127.6	169.0	107.6	78.2	149.0	118.3	51.2
浅色蔬菜	288.0	272.4	246.8	183.3	269.6	274.4	303.2	184.5	160.5	160.9	227.1	83.9	227.3	230.8
腌菜	2.9	3.5	6.9	6.1	13.8	6.3	4.2	19.2	11.8	34.7	24.3	18.8	15.6	7.3
鲜果	110.7	52.5	57.9	10.5	19.7	72.1	96.0	40.5	23.5	57.9	9.1	19.3	16.2	65.5
干果	6.9	3.8	5.0	0.2	1.0	0.7	0.9	3.1	3.5	6.6	1.6	10.3	2.4	9.8
猪肉	69.8	47.4	23.8	14.5	25.6	28.8	26.2	61.7	62.1	47.2	25.3	47.4	31.1	27.1
其它畜肉	14.4	13.2	2.7	2.5	15.6	5.6	5.9	6.1	6.1	4.7	2.2	3.3	3.1	3.3
动物内脏	4.6	3.2	1.0	0.5	3.4	1.3	1.4	5.3	10.4	6.3	1.7	6.8	4.0	2.3
禽肉	12.7	5.1	2.0	0.9	1.7	5.0	4.1	22.8	17.5	17.7	5.4	10.1	5.2	9.8
奶及制品	59.5	32.6	4.1	15.3	21.7	5.7	12.5	43.0	12.6	8.3	2.9	8.8	4.6	6.7
蛋及制品	43.1	37.6	17.1	13.6	11.5	25.0	25.5	29.0	19.5	16.0	9.3	14.6	8.4	27.6
鱼虾类	27.7	42.8	20.3	1.5	6.9	13.7	21.2	89.5	52.0	61.5	20.6	65.0	22.2	26.3
植物油	37.2	27.5	17.8	17.3	16.2	31.4	38.4	36.1	33.5	14.2	20.0	14.5	24.4	18.8
动物油	1.8	3.1	5.0	1.6	12.2	4.7	0.9	0.0	1.8	11.8	6.5	7.9	8.4	4.2
糕点类	18.7	27.5	13.2	3.3	12.2	2.1	5.6	13.6	5.5	19.8	1.7	2.0	3.5	15.6
糖、淀粉	10.5	7.3	5.9	5.7	9.0	4.1	2.4	13.7	12.0	6.6	2.9	1.8	0.8	3.3
食盐	15.2	9.4	15.1	8.5	12.4	17.9	14.5	13.3	16.2	13.8	17.4	11.0	19.4	13.6
酱及酱油	24.8	17.3	17.3	9.9	15.4	20.4	13.1	14.5	17.2	14.4	14.7	12.2	15.5	14.8
酒、重量%	3.3	1.2	1.7	0.2	3.7	0.8	1.0	1.3	3.8	3.9	1.4	10.0	0.8	3.0
其它	21.1	15.3	9.1	19.7	7.4	10.6	6.3	26.2	17.1	12.1	5.8	9.8	4.7	19.1

(续表)

种类	河南	湖北	湖南	广东	广西	海南	四川	贵州	云南	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆
米及制品	54.9	401.6	486.8	346.4	399.0	366.5	374.1	315.8	355.7	94.4	27.1	50.2	155.7	58.0
面及制品	369.6	49.1	13.0	19.0	16.6	10.8	97.9	58.7	15.9	307.2	489.3	455.4	303.1	507.8
其它谷类	56.0	0.7	1.0	0.3	5.7	0.4	7.3	53.3	64.8	91.2	16.5	2.8	37.7	16.7
薯类	118.3	42.3	47.0	7.8	34.9	4.6	186.0	60.5	125.5	102.1	175.3	248.0	88.4	38.9
干豆类	2.3	6.6	3.1	3.2	5.1	3.4	2.9	13.2	7.2	1.9	1.5	0.9	0.8	0.2
豆制品	6.4	13.9	8.2	6.6	5.1	2.9	3.8	12.1	6.0	3.8	2.1	3.8	2.9	1.7
深色蔬菜	50.6	147.3	89.3	204.9	219.0	140.0	153.9	168.7	122.8	53.7	90.0	65.5	96.0	137.2
浅色蔬菜	216.4	259.3	318.5	113.1	86.4	131.6	177.4	121.7	196.5	243.0	184.8	257.3	241.8	191.7
腌菜	2.9	7.5	6.8	15.6	11.2	10.0	9.8	4.7	12.1	2.6	2.0	8.1	3.6	0.5
鲜果	19.8	23.1	10.6	35.5	19.8	25.3	15.2	20.0	17.9	16.4	129.0	135.0	152.3	150.3
干果	2.1	5.2	0.7	2.5	2.1	2.5	4.8	2.8	3.5	0.2	0.2	0.7	0.5	0.5
猪肉	25.1	45.9	39.7	83.3	48.8	46.0	42.7	51.5	38.9	11.2	15.4	24.7	11.9	10.1
其它畜肉	4.0	4.3	3.7	13.5	7.7	9.2	5.7	4.1	6.1	4.2	3.1	23.3	13.7	44.8
动物内脏	1.4	4.3	4.6	10.6	7.5	6.2	5.6	5.1	4.8	0.6	0.3	6.5	0.9	2.4
禽肉	5.7	7.9	10.1	29.9	15.7	26.4	9.8	5.2	4.4	0.9	1.7	3.3	6.3	7.1
奶及制品	16.2	8.9	2.0	5.6	1.1	6.9	14.6	8.4	3.2	3.3	11.7	33.2	10.7	39.7
蛋及制品	18.9	14.6	10.2	20.4	6.8	7.6	9.2	8.0	5.2	2.1	10.0	10.8	9.7	10.5
鱼虾类	5.7	42.7	31.8	84.9	40.1	75.9	6.0	4.5	3.7	0.2	2.3	3.1	4.4	4.3
植物油	18.3	38.1	13.3	30.7	13.3	7.3	12.6	11.5	5.0	15.7	17.2	26.7	24.4	37.6
动物油	3.0	6.1	18.9	2.4	10.8	11.0	13.9	22.1	19.4	9.8	0.8	1.1	0.2	2.8
糕点类	6.8	3.1	2.2	5.7	0.5	6.0	1.6	2.4	1.0	0.4	2.0	6.5	0.9	25.5
糖、淀粉	4.7	4.2	1.3	3.1	1.1	4.0	2.2	3.0	1.8	4.6	3.0	6.5	3.0	2.2
食盐	16.1	16.4	14.4	11.0	13.1	10.8	12.2	13.7	13.4	15.5	7.8	15.5	11.2	9.9
酱及酱油	10.5	15.3	4.5	10.3	6.0	6.7	14.9	15.5	6.0	10.7	7.8	12.0	5.6	4.5
酒,重量%	0.4	2.7	2.3	0.2	0.6	1.7	2.7	2.9	2.0	0.2	0.0	0.2	0.1	0.1
其它	11.5	19.1	5.2	9.9	2.5	7.3	4.8	11.8	5.2	19.4	14.6	15.2	10.4	7.1

由表 7.4 可见,广东、福建、上海、北京等省市摄入谷类较少,每标准人日在 400g 以下,而动物性食物消费量较多,在 149 到 252g 之间。陕西、甘肃、贵州、云南等西部省区摄入动物性食物相当少,最低每标准人日只有 22g^[5]。

2. 城乡差异

我国 1982 和 1992 年全国营养调查都对城市和农村进行了调查和比较。现将 1992 年调查结果比较于表 7.5^[5]。

表 7.5 城市和农村全国平均食品消费量[g/(人·d)]比较

类型	米及制品	面及制品	其它谷类	薯类	干豆类	豆制品	深色蔬菜	浅色蔬菜	腌菜	鲜果	干果	猪肉	其它畜肉
城市	223.1	165.3	17.0	46.0	2.3	11.0	98.1	221.2	8.0	80.1	3.4	61.3	16.8
农村	255.8	189.1	40.9	108.0	4.0	6.2	107.1	199.6	10.8	32.0	3.0	25.0	4.7
全国平均	226.7	178.7	34.5	86.6	3.3	7.9	102.0	208.3	9.7	49.2	3.1	37.1	8.9
类型	动物内脏	禽肉	奶及制品	蛋及制品	鱼虾类	植物油	动物油	糕点类	糖、淀粉	食盐	酱及酱油	酒(重量%)	其它
城市	6.3	16.1	36.1	29.4	44.2	32.4	4.5	13.2	7.7	13.3	15.9	2.4	20.6
农村	2.7	5.2	3.8	8.8	19.2	17.1	8.5	4.1	3.0	13.9	10.6	1.5	6.6
全国平均	4.0	8.9	14.9	16.0	27.5	22.4	7.1	7.1	4.7	13.9	12.6	1.8	11.5

由表 7.5 表明,全国农村每标准人日消费谷类 486g,薯类 108g,比城市分别高 82 和 62g;日消费动物性食物(包括鲜奶)和水果分别为 69 及 32g,比城市分别低 140 及 48g;蔬菜、豆类和盐的消费量城乡差别不大;油、糖和酒的消费量城市明显高于农村^[5]。

3. 生活水平差异

1992 年第三次全国营养调查按低、中、高收入组调查所获得的食物消费量比较于表 7.6。

表 7.6 全国按年收入分组的平均食品消费量比较[g/(人·d)]

分组	年收 入,元	米及 制品	面及 制品	其它 谷类	薯类	干 豆类	豆 制品	深色 蔬菜	浅色 蔬菜	腌菜	鲜果	干果	猪肉	其它 畜肉
低收入组	337	229.3	191.7	54.5	115.5	3.9	5.3	99.6	197.9	10.9	25.9	2.2	18.8	4.3
中收入组	888	231.0	184.0	30.4	87.4	3.3	7.4	103.4	207.7	9.6	41.8	3.2	33.4	7.9
高收入组	2428	219.7	160.2	18.7	56.9	2.6	11.0	103.1	219.4	8.5	79.9	3.8	59.3	14.4
均值	1221	226.7	178.7	34.5	86.6	3.3	7.9	102.0	208.3	9.7	49.2	3.1	37.1	8.9
分组	年收 入,元	动物 内脏	禽肉	奶及 制品	蛋及 制品	鱼 虾类	植 物油	动 物油	糕 点类	糖、 淀粉	食盐	酱及 酱油	酒(重 量%)	其它
低收入组	337	2.1	3.7	6.1	7.5	15.7	16.1	6.9	3.8	2.8	13.8	9.7	1.4	6.1
中收入组	888	3.3	7.3	11.3	13.8	24.9	21.7	7.8	6.9	4.7	13.6	12.6	1.8	10.6
高收入组	2428	6.6	15.7	27.3	26.7	41.9	29.5	6.6	10.7	6.6	14.0	15.6	2.3	17.7
均值	1221	4.0	8.9	14.9	16.0	27.5	22.4	7.1	7.1	4.7	13.9	12.6	1.8	11.5

由表 7.6 可见,低收入组谷类和薯类消费高于中收入组,更高于高收入组。而其中各种动物性食物、果品、植物油及糖酒类消费则低于中收入组,更低于高收入组。豆类食物及蔬菜类消费量三个收入组差异不大^[5]。

4. 季节差异

我国地域辽阔,各地食品品种和生长期差别甚大。南方大多四季均可种植作物,而北方春季是蔬菜淡季。在 1992 年第二次总膳食研究中曾在北方两省(河北和陕西)开展过成年男子组春秋两季膳食组成比较的典型调查。表 7.7 所示结果表明,这两省除乳类、蛋类、糖类和酒类消费量春季大于秋季外,其余食品消费量均以秋季为大。总食品的平均消费量春季与秋季之比为 1:1.32。不仅蔬菜类,而且大多数种类食品(尤其是谷类、薯类、饮料和水等)秋季消费量均比春季为高。由于仅是两省调查结果,这些初步结论尚有待今后进一步证实^[9]。

表 7.7 北方两省各类食品消费量[g/(人·d)]和膳食组成(%)及其季节差异

食物 种类	河北				陕西				平均			
	秋		春		秋		春		秋		春	
	消费量	膳食 组成	消费量	膳食 组成	消费量	膳食 组成	消费量	膳食 组成	消费量	膳食 组成	消费量	膳食 组成
谷类	584.13	25.6	477.42	23.5	1170.01	55.4	552.47	42.9	877.07	39.9	514.94	31.0
豆类	36.07	16	40.70	2.0	24.09	1.1	3.83	0.3	30.08	1.4	22.26	1.3
薯类	37.44	1.6	16.56	0.8	76.43	3.6	50.24	3.9	56.94	2.6	33.40	2.0
肉类	30.70	1.3	18.92	0.9	22.09	1.0	3.38	0.3	26.40	1.2	11.15	0.7
蛋类	23.02	1.0	35.64	1.8	1.41	0.1	2.88	0.2	12.22	0.6	19.26	1.2

(续表)

食物 种类	河北				陕西				平均			
	秋		春		秋		春		秋		春	
	消费量	膳食组成	消费量	膳食组成	消费量	膳食组成	消费量	膳食组成	消费量	膳食组成	消费量	膳食组成
水产类	24.32	1.1	9.92	0.5	1.20	0.0			12.76	0.6	4.96	0.3
乳类			21.20	1.0	2.38	0.1	4.89	0.4	1.19	0.0	13.04	0.8
蔬菜类	285.55	12.5	386.67	19.0	302.50	14.3	228.31	17.7	294.02	13.4	307.49	18.5
水果类	61.51	2.7	19.63	1.0	0.52	0.0			31.02	1.4	9.82	0.6
糖类	0.15	0.0	4.09	0.2		0.0			0.08	0.0	2.04	0.1
饮料和水	1172.08	51.4	955.31	47.0	508.69	24.1	442.21	34.3	840.38	38.3	698.76	42.1
酒类	26.75	1.2	47.49	2.3	0.97	0.0			13.86	0.6	23.74	1.4
合计	2281.71	100.0	2033.53	100.0	2110	100.0	1288.20	100.0	2196.02	100.0	1660.86	100.0

五、我国膳食组成的国际比较及其特点

1. 国际比较

膳食组成随着各国地理、民族和生活方式及习惯的不同而有很大差异。日本农林水产省官房调查课曾编集了19个国家的食品供应量来进行国际比较^[10]。还有人按照膳食钙含量和来源差别将各国分为四种膳食类型：①绝大多数欧洲、北美和大洋洲膳食含钙量大于0.8g/(人·d)，其中70%~90%来自奶和奶制品；②南欧、拉美国家膳食含钙量为0.6~0.7g/(人·d)，其中60%~80%来自奶和奶制品，而蔬菜日消费量较前组为多；③埃及、叙利亚、土耳其、印度等国膳食含钙量为0.3~0.45g/(人·d)，谷类、豆类、蔬菜更显得重要；④锡兰、日本等国膳食含钙量为0.2~0.35g/(人·d)，主要来自谷类、豆类和蔬菜，奶类不是钙主要来源。由于各种食品浓缩放射性核素能力的差异及占总消费量份额的不同，对放射性核素转移入人体的作用也就不同。如对第①类国家，⁹⁰Sr主要膳食来源是奶类，而对第④类国家则是谷类和蔬菜^[11]。

ICRP在1975年公布的国际参考人参数的局限性之一就是主要根据西欧、北美白种人调查数据，而占世界人口50%以上的亚洲人却没有得到应有的反映。亚洲国家居民饮食习惯(膳食组成和烹调方式)与欧美白人明显不同，已成为IAEA地区协作项目“亚洲参考人解剖、生理和代谢参数编集”立题重要依据之一。作者将1993年该课题第一阶段总结会上收集到的亚洲国家资料、世界其它地区国家文献资料^[10]以及我国1990年总膳食研究结果一并比较于表7.8。尽管不同年代资料和表达方式有所差别，但用作膳食组成的大致比较还是有意义的。

表 7.8 食品消费量国际比较[kg/(人·年)]¹⁾

洲别	国家	年份	谷类	土豆和淀粉	糖和甜料	豆类和坚果	蔬菜	水果	家禽和肉	蛋类	水产品	奶和奶制品	油和脂肪
欧洲	德国	1975	66.0	90.1	37.8	3.3	68.5	110.9	90.4	17.2	9.0	270.2	19.4
	法国	1975	76.1	90.8	35.6	4.3	112.0	74.2	99.1	12.9	18.7	320.6	19.1
	英国	1975	74.6	90.4	48.6	4.9	60.5	47.1	73.5	13.8	7.9	363.6	15.1
	意大利	1975	131.1	35.7	30.5	8.1	155.7	100.8	65.2	11.3	10.8	189.7	21.9
	美国	1975	61.8	47.9	50.1	8.1	94.7	72.3	110.1	16.0	6.9	246.1	22.5

(续表)

洲别	国家	年份	谷类	土豆和 淀粉	糖和 甜料	豆类 和坚果	蔬菜	水果	家禽 和肉	蛋类	水产品	奶和 奶制品	油和 脂肪
美洲	加拿大	1975	69.6	91.6	44.8	10.0	67.4	80.7	94.1	12.7	5.8	302.4	13.8
	巴西	1972 ~1974	90.8	69.0	43.5	26.8	22.0	113.9	30.9	4.0	4.8	49.7	8.2
	阿根廷	1972 ~1974	98.7	83.6	40.3	3.6	76.4	106.0	98.2	6.9	4.7	82.1	16.8
大洋洲	新西兰	1975	76.2	51.8	36.0	3.2	128.0	73.3	113.5	17.1	4.7	396.9	6.7
	中	1972 ~1974	149.0	103.1	5.7	17.1	63.9	8.9	18.3	3.7	6.5	3.5	3.1
	国	1990	168.4	36.9	1.2	14.4	118.2	36.9	17.8	6.2	8.3	4.0	11.2
亚洲	日本	1977	117.9	28.5	26.2	10.4	131.9	57.3	28.6	16.2	34.1	57.0	11.9
	本	1990	117.6	22.7	14.1	25.3	94.7	60.2	25.3	14.7	33.3	41.8	6.5
	印度	1972 ~1974	136.0	10.6	24.5	19.5	46.7	23.3	1.5	0.1	2.3	33.8	4.5
	度	1990	171.2	18.2	10.6	16.4	23.7	9.1	5.5 ²⁾		5.1	36.5	5.5
	孟加拉	1990	189.8	38.0	3.6	4.4	54.8	7.3	5.1	1.8	14.6	7.3	2.2
	菲律宾	1990	142.7	23.7	17.2	33.2	52.2	41.2	35.8	11.3	27.0	3.3	8.0

注:1)除亚洲国家1990年资料引自《亚洲参考人第一阶段总结会资料》外,其余均引自文献[10]。

2)包括肉和蛋。

由表 7.8 可见,亚洲膳食明显不同于欧美,均呈现以谷类和蔬菜等植物性食物为主,奶类和肉类等动物性食物消费量较少的特点。我国膳食显示明显的亚洲膳食特点,亚洲各国的膳食具有共同的特征,而其变化又显然会与各国经济和生活水平的发展有关。

2. 中国膳食组成的特点

1992 年营养调查和 1990 年总膳食研究是近年我国开展的 2 次大规模全国性调查,具有相当好的全国代表性。我国标准人膳食组成(详见表 7.2)呈现以下共同特点:

(1)我国膳食组成仍以粮谷类和蔬菜类等植物性食品为主,动物性食物比例仍较小。

(2)从全国平均来说,近 10 年来粮谷类消费量明显下降,而肉类、水产类、植物油、蛋类和奶类食品消费量却明显升高,表明我国膳食在向结构合理和优化方向变化。

(3)上述改善趋势呈现出明显的不平衡性(农村和城市、东南沿海和西北内陆、富裕和贫困地区等)。因此,仍有必要在少数尚未解决温饱地区强调保证粮谷类消费同时,适当增加动物性食品、油脂及蔬菜类的消费。在经济水平较高地区和大部分大中城市,应注意避免动物性食物和油脂类消费过多而致膳食组成西方化。在全国坚持以植物性食物为主,进一步提高豆类和新鲜蔬菜(特别是绿色蔬菜)消费量,适当提高禽、奶类消费。应改善我国食盐(含酱油)消费过多的缺点。

(诸洪达 陆 梅)

参 考 文 献

- 1 ICRP. ICRP Publication 23. Report of the task group on reference man. Oxford: Pergamon Press, 1975
- 2 WHO. Guidelines for the study of dietary intakes of chemical contaminants. WHO Offset Publication, 1985, 87: 10

- 3 中国预防医学中心卫生研究所. 1982 年全国营养调查总结. 1985(11):4
- 4 陈君石, 高俊全. 1990 年中国总膳食研究, I. 化学污染物, II. 营养素. 卫生研究, 1993, 22(增刊 1):1~20
- 5 葛可佑主编. 90 年代中国人群的膳食与营养状况(第 1 卷). 第一版. 北京: 人民卫生出版社, 1996:107
- 6 ICRP. Statement from the 1983 Washington meeting of the ICRP. Annals of the ICRP 1984; 14(2)
- 7 周永增, 李素云. 关于公众成员某些放射性核素的剂量转换因子的探讨. 辐射防护, 1988, 8(4/5):367
- 8 ICRP. ICRP Publication 72. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides; part 5. Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients. Oxford: Pergamon Press, 1996
- 9 诸洪达, 高俊全, 等. 中国人膳食组成及食入元素和放射性核素摄入量研究. 辐射防护通讯, 1996, 16(2):1~24
- 10 住谷みさ子. 日本人の食品摂取量について—その1. 放射線科学. 1980, 23(9):170
- 11 诸洪达. 膳食调查及其在辐射防护中的应用. 国外医学放射医学核医学分册, 1990, (1):1~7

第八章 营养素、元素和放射性核素的摄入量

膳食调查是营养调查的基本组成,包括调查膳食组成,进而计算出热能、营养素摄入量以供营养卫生评价。膳食组成调查结果还在食品卫生和放射卫生领域对于化学污染物和放射性核素食入摄入量估算及评价中得到广泛的应用。本章开始先介绍营养素、元素等食入摄入量研究方法及国内外进展、评价指标;然后综述我国近年来实际调查的测定或估算结果及其卫生学评价;包括对元素和放射性核素食品含量、热能和营养素摄入量以及按原子序数逐个对元素和放射性核素食入摄入量分别进行了评述和讨论。

一、食入摄入量的研究方法及国内外进展

1. 食入摄入量研究方法

营养调查关注的是能量和营养素的摄入状况,摄入量通常采用《食物成分表》按膳食组成估算。由于地理条件、土壤、水质等的自然差异,各国都制定有各自的《食物成分表》,随着分析技术的进步和资料的完善,《食物成分表》应该不断更新。现行的我国《食物成分表》是1991年8月重新编制的,包括了28大类,1358种食物的26种营养素含量,456种食品的氨基酸含量和400种食品的胆固醇含量^[1]。

污染物(包括放射性物质)摄入量的研究常用的有三种方法^[2]:

(1)总膳食(即市场菜篮子)研究 样品由反映特定期间消费者总膳食菜篮子的内容组成。食品经烹调成供食形式,个别或按相应消费量比例归类成食物组进行分析测定,依据膳食组成可估算出各组分和总膳食的平均日摄入量。按其分析样品又分为混合食物样品法和单个食物样品法两种^[3]。总膳食研究在确定污染物食物来源上特别有价值。

(2)单个食物的选择性研究 测定主要食品(生的或烹调后的)代表性样品中污染物残留水平,同样结合可用的膳食消费资料而估算出平均日摄入量。在污染物主要来自少数种类食物和/或针对这些食物所建立的污染检测中这类方法尤其有用。

(3)双份饭研究 收集个体一定时期内消费的重复的整份膳食供分析。

方法的选用取决于调查目的和可利用的资源条件。三种方法各有优缺点。单个食物的选择性研究是目前大多数国家最常用的方法,其工作量较小,费用较低,但结果只能粗略地反映人群的化学污染物和营养素摄入量。双份饭研究适合于研究特定的人群,结果比较准确,需要收集和测定每个人的所有食物,所以工作量大、费用高,不适合于大规模研究。总膳食研究既直接测定所调查人群已烹调的全部膳食,又能包括较多的研究对象,因而适用于一个国家或地区一般或特定人群膳食化学污染物和营养素的总摄入量及其食物种类分布的阐明。WHO近年来推荐和鼓励各成员国开展总膳食研究。UNEP/FAO/WHO全球食物污染监测计划已将总膳食研究列为重要内容。

2. 国内外总膳食研究的进展

美国在60年代初开始全国性的总膳食研究。一开始以成人和婴儿两个年龄组为对象,将

全国分为四个“菜篮子”，以混合食物样品法归纳成 12 类（如谷类、肉类、蔬菜类……）进行测定。分析项目包括农药、重金属、常量元素和微量元素。到了 80 年代改用单个食物样品法，将人群分为八个不同的性别、年龄组，对 234 种不同的食物分别取样、烹调和分析。最后分别估算出各人群组的人均日摄入量。既避免了混合食物样品法中同类食物由混合所致稀释，又利于直接发现膳食中化学污染物的食品来源。

继美国之后，陆续有英国、加拿大、日本、新西兰和荷兰等十余个国家开展了此项工作。出于人力和物力方面的考虑，目前大多数国家采用混合食物样品法归纳为 8~15 类进行测定和估算。在分析项目方面，大多数国家只限于化学污染物，主要是农药和重金属。营养素即使涉及也只是少数微量元素。其中以荷兰总膳食研究的分析项目较全面，包括重金属、农药、多环芳烃、黄曲霉毒素、食品添加剂、蛋白质、脂肪、膳食纤维、碳水化合物、微量元素、常量元素、维生素和脂肪酸等。定期进行总膳食研究已成为观察污染物和营养素动态变化趋势的有用监测手段^[3]。

我国除在 1958、1982 和 1992 年分别进行了三次全国营养调查外，在 WHO 的鼓励和支持下，中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所在 1990 年组织开展了首次中国总膳食研究^[3]。其后，在国际原子能机构发起《亚洲参考人解剖、生理、代谢参数编集》地区性协作项目研究推动下，在 1990 年研究基础上，中国医学科学院放射医学研究所又组织了 1992 年更新性总膳食研究^[4]。

3. 我国总膳食研究方法简介

1990 年全国总膳食研究方法已在第七章作过简要介绍。为了更新和扩展所测定元素项目与调查性别年龄组和季节性差异，1992 年在这四大区内还按消费量及经济状况居中的原则，各选定河北、陕西、上海和湖北四省、市进行典型调查。现将所用有关摄入量估算的研究方法补充如下。

(1) 食品样品的采集和制备 根据 1990 年膳食组成和规定要求由各省、市、自治区在各调查点附近采集食品样品（四大区调查共 144 个采样点，典型调查共 48 个采样点），各种样品按当地习惯烹调、匀浆成 12 类样品装入聚乙烯塑料瓶中，在冰冻状态下集中到营养与食品卫生研究所实验室。在那里以大区为单位按消费比例进一步混合成 4 个菜篮子各 12 类食品样品供更新性调查分析用。典型调查是分别在 4 省市和北方两省按本次调查所得各组人群膳食组成同样在所包括的采样点采集、烹调并匀浆成 12 类食品。然后把饮料和水加上酒类作为一类样品，而将其它 10 类按膳食组成比例混匀为混合食品，供分析用。

以上膳食组成调查和采样时间和 1990 年总膳食研究相同，即北方在秋季、南方在春季进行。

(2) 分析测定方法、质量保证和评价 食品因基质复杂、不少元素含量低，要求分析方法灵敏度高和选择性好。尽量采用了国标方法，但为了提高灵敏度对有些方法做了必要的改进。对于新测定元素，采用了灵敏的方法（如 NAA 法）。所用测定方法及评价数据见表 8.1^[3]。

元素和放射性核素测定中所用质量保证措施（参见表 8.2）：

1) 分析方法尽量采用国家标准方法，具备各种必要评价数据，包括最低检出限、回收率和变异系数等（表 8.1）；

2) 样品测定采用了平行样，进行试剂空白、回收率试验。用具有鉴定值或参考值的标准参考物质对测定方法在样品分析的同时进行检验。对无标准参考物质的元素只能采用标准溶液

表 8.1 元素测定方法及评价数据¹⁾

项 目	测定方法 ²⁾	最低检出限	回收率, %	变异系数, %
重金属:				
Pb	1	5.16ng/g	104(85~118)	11.5
Cd	1	0.10ng/g	97(92~103)	4.3
Hg	1	0.36ng/g	96(85~121)	14.0
Au	2	0.0081ng/g	100	18.5
Ag	1	0.5μg/L	94.5(92~97)	6.4
常量元素:				
K	5(GB12397~90) ³⁾	0.05mg/L	101.2~103.1	<2.6
Na	5(GB12397~90)	0.3mg/L	100.2~101.3	<5.1
Ca	1(GB12398~90)	0.1mg/L	99.4~100.5	<5.7
Mg	1(GB12396~90)	0.05mg/L	99.2~100.0	<5.9
P	1(GB12393~90)	1.49mg/L	98.1~101.0	<6.4
Fe	1(GB12396~90)	0.2mg/L	101.5~102.3	<7.2
Al	2	0.24ng/g	100	4.6
Cl	2	2.5μg/g	100	5.6
微量元素:				
Cu	1(GB5009.13~85)	0.5mg/L	98.5	<2.8
Mn	1(GB12396~90)	0.1mg/L	100.5~101.2	<9.6
Zn	1(GB5009.14~85)	0.5mg/L	95.0	<3.4
Se	4(GB12399~90)	3.0μg/kg	92.6~101.6	8.2
Mo	1	1.0μg/L	96.5(90~102)	4.2
Co	1	1.0μg/L	96.5(90~102)	5.2
Rb	2	0.021μg/g	100	10.9
Sb	2	1.0ng/g	100	18
Sc	2	0.8ng/g	100	3.0
Cr	1	1.0μg/L	97.0(89~105)	4.8
I	2	0.013μg/g	100	6.3
Ni	1	2.0μg/L	97.0(92~102)	5.2
Sr	1	2.0μg/L	97.8(94~101)	3.7
Li	1	0.02mg/L	97.0(92~102)	2.2
Ba	2	0.25μg/g	100	21
Cs	2	0.02μg/g	100	12.2
La	2	8.0ng/g	100	20
Ce	2	0.036μg/g	100	33
Br	2	0.13μg/g	100	3.5
放射性核素:				
⁹⁰ Sr	3(GB14883.3~94)	2.4mBq/g 灰	73.1(54.6~86.4)	40.0
¹³⁷ Cs	3(GB14883.10~94)	1.1mBq/g 灰	81.5(60.5~95.5)	95.1
²²⁶ Ra	3(GB14883.6~94)	1.3mBq/g 灰	91.1(51.0~100.0)	37.2
²²⁸ Ra	3(GB14883.6~94)	1.1mBq/g 灰	91.1(51.0~100.0)	72.0
²¹⁰ Po	3(GB14883.5~94)	1.0mBq/kg	91.9(80.7~100.0)	58.8
²¹⁰ Pb	3	4.4mBq/kg	91.3(80.3~97.9)	72.7

注:1)除放射性核素按1992年总膳食研究实测结果估算外,其它都引自文献[3]。

2)1——原子吸收光谱法;2——中子活化分析法;3——放射分析法;4——荧光分光光度法;5——火焰发射光谱法。

3)括号内为国家标准号。

以相对法对测定结果定值；

3) 有的实验室曾参加 FAO/WHO 食品污染监测项目分析质量测试, 各项目全部通过^[3]。

表 8.2 分析测定中质量保证

项 目	标准物质名称	测定次数	测定范围, mg/kg	平均值, mg/kg	鉴定值, mg/kg
重金属: Pb	菠菜粉 NBS 1570	5	1.01~1.05	1.05±0.06	1.2±0.2
	牡蛎粉 NBS 1566	5	0.43~0.47	0.45±0.03	0.48±0.04
	Cd 菠菜粉 NBS 1570	4	1.09~1.27	1.17±0.08	1.5
	Hg 菠菜粉 NBS 1570	5	0.028~0.036	0.033±0.004	0.030±0.005
	牡蛎粉 NBS 1566	5	0.054~0.058	0.055±0.03	0.057±0.01
常量元素: K	面包屑, 美国汤料公司	3	890.9~912.1	903.5	910.0±76.0
	Na 面包屑, 美国汤料公司	3	739.7~765.4	755.7	743.0±54.0
	Ca 面包屑, 美国汤料公司	3	253.8~260.6	256.6	257.0±13.0
	P 猪肝粉, 商业部食检所	2		0.0126	0.0130
	Fe 面包屑, 美国汤料公司	3	8.43~8.92	8.63	8.28±0.85
	Al 菠菜粉 NBS 1570	4	787~800	794±9	870±50
	牡蛎粉 NBS 1566		256~273.2	264.6±12.2	
	Cl 菠菜粉 NBS 1570	4	6100~6230	6165±95	
	牡蛎粉 NBS 1566		8021~8085	8053±45	
	微量元素: Se 牛肝粉, NBS 1577	2	0.686~0.702	0.694	0.71±0.07
Mo	猪肝粉, 商业部食检所	2	3.507~4.302	3.905	3.8±0.4
	Co 猪肝粉, 商业部食检所	2	0.087~0.121	0.104	0.100
Rb	菠菜粉 NBS 1570	4	9.41~9.84	9.6±0.3	12.1±0.2
	牡蛎粉 NBS 1566		3.80~4.43	4.12±0.45	4.45±0.09
Sc	菠菜粉 NBS 1570	4	0.127~0.134	0.131±0.005	
	牡蛎粉 NBS 1566		0.0615~0.0642	0.0629±0.0019	
I	菠菜粉 NBS 1570	4	0.943~1.04	0.99±0.07	
	牡蛎粉 NBS 1566		2.73~2.98	2.86±0.18	
Ba	菠菜粉 NBS 1570	4	11.2~13.8	12.5±1.8	
Cs	菠菜粉 NBS 1570	4	0.0906~0.133	0.112±0.030	
Br	菠菜粉 NBS 1570	4	50.8~52.3	51.6±1.1	
	牡蛎粉 NBS 1566		58.4~61.3	59.4±2.1	

检出限确定及结果表达均按国际规范要求: 低于检出限的值报告为痕量(Tr), 未检出生为零^[2]。

依据当地的人群膳食组成和本次测出的元素或放射性核素含量, 对各元素或核素分别估算人均摄入量, 并了解其食品来源。

二、摄入量和食品中元素和放射性核素含量的卫生评价指标

1. 推荐的日膳食供给量标准

营养卫生关心的是营养素的摄入量是否能满足正常人身体健康的需要。其评价指标是摄入量达到推荐的日膳食供给量标准(Recommended daily dietary allowances, RDA)的程度。RDA 是作为保证正常人健康而提出的膳食质量标准, 供设计和评价群体膳食的依据, 并作为

国家和地方制定发展食品经济计划和指导食品加工参考。是在正常生理需要量基础上还需考虑个体差异,以确保群体中绝大多数都能得到所需营养素。显然,供给量标准要比需要量充裕。制定 RDA 时考虑到我国的膳食特点,即以谷类食物为主,动物性食品消费量少,有的营养素(如铁)吸收利用低,有的(如抗坏血酸)在烹调中极易损失,蛋白质的质量差,规定的供给量应高些。有些营养素(如钙、核黄素)食物来源不丰富,规定的 RDA 不易达到,应在调配膳食时尽量选取多种食物以求达到标准。

中国营养学会 1988 年 10 月通过了包括能量、蛋白质、脂肪、五种矿物质和微量元素以及七种维生素的 RDA,在次年 10 月又作了修改和说明。这些推荐值是依据我国当时的膳食模式和其它有关可用资料,针对不同年龄阶段、劳动强度和生理需要状况等提出的。

2. 估算的安全和适宜日膳食摄入量

某些营养素和元素尚缺少制定 RDA 的依据(如人体需要量和食物中含量),只能推荐出适合的摄入量范围,即估算的安全和适宜日膳食摄入量(Estimated safe and adequate daily dietary intakes, ESADDI)^[5,6]。

3. 每日容许摄入量和暂定的周耐受摄入量

食品卫生关心的是有害物质的摄入量是否超过限值。每日容许摄入量(ADI)指人终生每日摄入该化学物质(如污染物等)而不会发生任何用现代医学技术所能测出的急性或慢性危害的摄入量。1972 年以来,FAO/WHO 食品添加剂联合专家委员会(JECFA)评估了某些污染物(如 Cd、Pb 和 Hg)并确定它们的暂定的周耐受摄入量(Provisional tolerable weekly intake, PTWI)。PTWI 表明带有试验性,而 ADI 的确定应积累更多的人体资料。当膳食调查发现污染物实际达到或超过 ADI 或 PTWI 时,国家当局应评估是否应采取措施对其污染予以限制^[2]。

4. 年摄入量限值

放射卫生关心的是放射性物质(元素或核素)的摄入量是否超过限值。年摄入量限值(Annual limit of intake, ALI)是限制放射性核素经消化道或呼吸道进入人体的次级限值。低于 ALI 年摄入量不会导致超过剂量限值,从而提供了辐射防护的安全性^[6]。

应该指出,由于有害和营养元素的划分是相对的,随着存在量的多少和人类对自然规律认识的发展常会出现不同的看法和产生不同的划分。如碘是一种营养元素,但过量碘的摄入也会对人体产生有害效应;随着对酶和生命活动的认识深化,越来越多的微量元素由于其在这些活动中的重要作用而被归入营养元素。

5. 现行摄入量评价指标的推荐值

由于公众由不同年龄、性别、生理状况等的人群组组成,各有其不同的营养素推荐供给量标准。不同年龄组人群对有害元素的耐受性也不同,例如,ICRP 对各种放射性核素推荐了不同年龄组的剂量系数^[7]。因此,对于不同年龄组都应有相应不同的 ADI,PTWI 或 ALI 推荐值。考虑到本章讨论范围,现将我国现行对成年男子组的各项推荐值汇总于表 8.3^[5,6]。其它年龄、性别组的相应推荐值可参阅有关文献^[5,7]。尽管我国尚未制订元素磷的 RDA,可考虑暂引用美国的推荐值。由于许多微量元素的毒性水平仅为正常摄入量的数倍,所以不能经常超出 ESADDI 的上限。

6. 关于食品中元素和放射性核素含量的限值

尽管摄入量是营养、食品和放射卫生评价的基本指标,但调查工作量大、费时费力,难以作为日常监测应用。而食品中有害物质含量的检验则因其简单和直观,通常作为食品防疫机构和

进出口商检部门监测项目。食品中元素或放射性物质含量限值一般是一种导出标准,其对象是所测定的食品,而不是人群。然而,食品中含量卫生标准制定一般也是依据该国公众膳食组成(即该类食物消费速率)和摄入量限值,并留有一定安全系数,应该保证长期食用不超过摄入量限值来导出。

表 8.3 营养素、元素和放射性核素摄入量卫生学评价指标(成年男子)

项 目	指 标 ¹⁾	指标类型	项 目	指 标 ¹⁾	指标类型
能量	2400kcal	RDA	Mo	0.15~0.50mg	ESADDI
蛋白质	70g	RDA	Na	1.1~3.3g	ESADDI
脂肪	20~25g	RDA	K	1.875~5.625g	ESADDI
Pb	214.3μg	ADI	Cl	1.7~5.1g	ESADDI
Cd	60.0μg	ADI	Al	63mg	ESADDI
Hg	42.9μg	ADI	³ H	6.2×10 ⁷ Bq	ALI
Ca	800mg	RDA	⁸⁹ Sr	4.6×10 ⁵ Bq	ALI
Fe	12mg	RDA	⁹⁰ Sr	2.8×10 ⁴ Bq	ALI
Zn	15mg	RDA	¹³¹ I	7.7×10 ⁴ Bq	ALI
Se	50μg	RDA	¹³⁷ Cs	7.7×10 ⁴ Bq	ALI
I	150μg	RDA	¹⁴⁷ Pm	3.2×10 ⁶ Bq	ALI
Mg	350mg	ESADDI	²¹⁰ Po	2.2×10 ³ Bq	ALI
Cu	2.0~3.0mg	ESADDI	²²⁶ Ra	4.0×10 ³ Bq	ALI
Mn	2.5~5.0mg	ESADDI	²²⁸ Ra	2.0×10 ³ Bq	ALI
F	1.5~4.0mg	ESADDI	天然钍	347mg	ALI
Cr	0.05~0.20mg	ESADDI	天然铀	551mg	ALI
			²³⁹ Pu	1.0×10 ³ Bq	ALI

1)放射性核素指年摄入量,其它均为日摄入量。

目前我国已对 9 种元素和 12 种放射性核素(或元素)制定了食品中限量的国家卫生标准,分别列于表 8.4 和表 8.5。其中,砷以总 As 量计,对海产食品另制定无机砷的卫生标准。此外,由于稀土肥料使用相应制定了植物性食品中稀土限量的国家卫生标准^[8],饮水作为食品之一,其含量的卫生学评价可引用我国生活饮用水的相应国家卫生标准^[9,10]。

表 8.4 我国 9 种元素食品中限量国家卫生标准(mg/kg)

元素	粮 食	蔬菜	豆类	薯类	肉类	鱼、水产品	蛋类	水果	乳类	GB 号
Pb	0.4	0.2	0.8	0.4	0.5	0.5	0.2	0.2	0.05	14935-94
Cd	大米 0.2、面粉 0.1、杂粮 0.05	0.05			0.1	0.1	0.05	0.03		15201-94
Hg	0.02	0.01		0.01	0.05	0.3 0.2(甲基汞)	0.05	0.01	0.01	2762-94
F	大米、面粉 1.0、 其它 1.5	1.0	1.0		2.0	2.0	1.0	0.5		4809-84
Cu	10	10	20		10	50	5	10		15199-94
Cr	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	2.0	1.0	0.5	0.3	14961-94
Se	0.3	0.1	0.3	0.1	0.5	1.0	0.5	0.05	0.03	13105-91
Zn	50	20	100		100	50	50	5	10	13106-91
As	0.7	0.5			0.5	0.5(淡水)	0.5	0.5	0.2	4810-94

表 8.5 我国 12 种放射性核素或元素食品限量浓度标准 (GB14882-94)¹⁾

核素(或元素)	粮 食	薯 类	蔬菜及水果	肉鱼虾类	鲜 奶
³ H	2.1×10^5	7.2×10^4	1.7×10^5	6.5×10^5	8.8×10^4
⁸⁹ Sr	1.2×10^3	5.4×10^2	9.7×10^2	2.9×10^3	2.4×10^2
⁹⁰ Sr	9.6×10^1	3.3×10^1	7.7×10^1	2.9×10^2	4.0×10^1
¹³¹ I	1.9×10^2	8.9×10^1	1.6×10^2	4.7×10^2	3.3×10^1
¹³⁷ Cs	2.6×10^2	9.0×10^1	2.1×10^2	8.0×10^2	3.3×10^2
¹⁴⁷ Pm	1.0×10^4	3.7×10^3	8.2×10^3	2.4×10^4	2.2×10^3
²³⁹ Pu	3.4	1.2	2.7	10.0	2.6
²¹⁰ Po	6.4	2.8	5.3	1.5×10^1	1.3
²²⁶ Ra	1.4×10^1	4.7	1.1×10^1	3.8×10^1	3.7
²²⁸ Ra	6.9	2.4	5.6	2.1×10^1	2.8
天然钍	1.2	4.0×10^{-1}	9.6×10^{-1}	3.6	7.5×10^{-1}
天然铀	1.9	6.4×10^{-1}	1.5	5.4	5.2×10^{-1}

1)除天然铀、钍单位 mg/kg 外,其余核素单位均为 Bq/kg。

三、我国各类食品中元素和放射性核素含量及其卫生学评价

1. 食品中含量测定的意义

食品含量测定和膳食组成调查是摄入量估算的两个重要前提,而含量测定本身常是食物污染监测的直接和简便的手段,可用含量限值直接和快速的卫生评价。

从生态学观点看,无论是动物或植物食品都是物质生物链转移的环节之一,各种元素(连同其放射性核素)都按其特有的理化和生物学特性参与这些生物链转移。在当时特定自然和社会条件影响下,食品中各元素含量在相当程度上反映该食品对其浓集和吸收的能力。相同环境条件下所生长的各类食品中各元素含量资料应该说对于环境生态学和食品卫生学监测指示种类的选择都有意义。例如,水产品、蔬菜、豆类中不少元素或放射性核素含量较其它食品为高,应成为今后监测的重点。

2. 我国各类食品中元素含量的最新资料及其卫生学评价

1990 年和 1992 年我国开展过两次总膳食研究,尤其以后一次调查所测定的元素为多。现将 1992 年我国各类食品元素全国平均含量测定结果分别列于表 8.6 和表 8.7。其中,已制定国家限制量卫生标准的 7 种元素在表 8.7 中与国家限值进行了比较^[4]。这些结果和 1990 年调查结果^[3]基本一致。尽管这些元素的全国平均含量尚未超过国家限量标准,但有些食品中某些污染元素已相当接近于限值:最值得注意的是豆类中的汞,平均含量已达限值的 82%;蔬菜中铬已接近限值的一半;蛋类中铬接近限值的 44%;其余像谷类、肉类中的铬,蔬菜和蛋类的铅、水产类的镉和硒也有类似情形。至于进一步按各大区结果来评价,某些大区这种情况更为严重。例如北方二区豆类中汞(196.0%)和南方一区蔬菜类中铬(126.4%)均已超过了相应限值,而南方二区豆类中汞(99.0%)、北方二区豆类(93.4%)和南方一区水产类中镉(88.7%)也都接近相应限值。这些食品和污染元素项目今后应予以重点监测和控制^[4,11]。

表 8.6 1992 年总膳食研究各类食品烹前全国平均元素含量

元素(单位)	谷类	豆类	薯类	肉类	蛋类	水产类	乳类	蔬菜类	水果类	糖类	饮料及水	酒类
Ag(ng/g)	33.4	22.6	24.7	38.3	39.5	46.9	4.16	45.6	6.8	16.3	1.0	3.6
Al(μ g/g)	50.68	31.23	17.87	19.83	29.37	32.83	33.85	15.99	6.31	9.80	0.34	0.98
Au(μ g/g)	0.155	0.076	0.102	0.270	0.134	0.244	0.042	0.186	0.233	0.089	0.005	0.002
Ba(μ g/g)	1.69	1.14	0.98	2.05	1.87	1.17	0.38	1.48	0.42	0.54	0.057	0.037
Br(μ g/g)	1.596	1.910	2.190	4.186	5.510	7.834	1.726	3.004	0.158	0.437	0.036	0.056
Ca(mg/g)	0.259	1.161	0.178	0.147	0.600	1.319	0.385	0.610	0.101	0.201	0.043	0.051
Ce ¹⁾ (ng/g)	67	71	50	60	70	78	22	29	52	8	0.9	0.6
Cl(mg/g)	2.448	8.002	9.535	14.588	14.474	12.725	0.851	12.010	0.320	0.134	0.027	0.040
Co(ng/g)	37.6	46.4	25.2	46.8	38.3	169.8	9.0	68.2	11.1	7.4	0.9	1.4
Cs(ng/g)	30.8	41.8	53.6	146.8	21.8	31.9	18.6	29.4	16.2	44.6	0.84	0.35
Fe(μ g/g)	25.4	49.2	15.4	28.6	32.1	33.4	0.4	21.2	3.8	10.6	0.2	1.6
I(μ g/g)	0.168	0.104	0.139	0.209	0.366	0.366	0.046	0.406	0.007	0.016	0.013	0.004
K(mg/g)	0.736	0.754	0.747	1.540	0.690	0.931	0.100	0.709	0.719	0.124	0.009	0.056
La ¹⁾ (ng/g)	52.4	17.9	23.8	22.2	36.1	54.3	8.2	35.4	5.8	3.5	1.5	0.39
Li(ng/g)	80.5	43.0	27.7	21.2	37.8	46.7	11.7	33.4	9.8	5.0	8.0	8.4
Mg(mg/g)	0.317	0.403	0.189	0.200	0.125	0.300	0.074	1.191	0.069	0.059	0.021	0.044
Mn(μ g/g)	6.7	7.1	2.2	1.0	0.6	4.2	0.2	1.5	0.9	1.0	0.4	0.2
Mo(μ g/g)	0.360	0.110	0.102	0.051	0.065	0.056	0.013	0.097	0.008	0.004	0.011	0.004
Na(mg/g)	1.610	7.105	6.895	9.009	10.623	9.733	0.320	4.474	0.022	0.039	0.020	0.049
Ni(μ g/g)	0.460	0.532	0.281	0.229	0.262	0.515	0.031	0.331	0.081	0.042	0.006	0.013
P(mg/g)	1.233	1.442	0.398	1.239	1.917	2.268	0.463	0.345	0.116	0.007	0.002	0.077
Rb(μ g/g)	3.235	2.652	4.709	5.577	3.168	1.336	3.103	3.058	11.848	1.018	0.083	0.045
Sb ¹⁾ (ng/g)	34	12	8	32	9	13	3	6	2	4	0.4	0.2
Sc(ng/g)	6.7	5.2	2.7	3.2	3.0	5.8	0.6	3.0	0.95	2.2	0.03	0.02
Sr(μ g/g)	0.855	0.411	0.257	0.306	0.414	0.734	0.159	0.778	0.269	0.289	0.183	0.106

1)仅为两区平均值。

表 8.7 1992 年各类食品中 7 种元素平均测出值及与限量标准的比较

种类	Pb, μ g/kg	Cd, μ g/kg	Hg, μ g/kg	Cr,mg/kg	Se, μ g/kg	Zn,mg/kg	Cu,mg/kg
谷类	94 (23.5) ¹⁾	23.2 (19.7)	5.4 (27.0)	0.456 (45.6)	53.7 (17.9)	14.0 (28.0)	2.7 (27.0)
豆类	52 (6.5)	18.0 (36.0) ²⁾	8.2 (82.0) ²⁾	0.145 (14.5)	23.0 (7.7)	14.6 (14.6)	4.0 (20.0)
薯类	32 (8.0)	7.8 (15.6)	1.8 (18.0)	0.183 (36.6)	9.0 (9.0)	3.4	1.6
肉类	29 (5.8)	8.8 (8.8)	6.8 (13.6)	0.397 (39.7)	80.5 (16.1)	25.7 (25.7)	0.8 (8.0)
蛋类	82 (41.0)	10.0 (20.0)	6.8 (13.6)	0.437 (43.7)	215.6 (43.1)	14.8 (29.6)	0.8 (16.0)
水产类	77 (15.4)	42.2 (42.2)	22.4 (7.5)	0.349 (17.4)	346.8 (34.7)	11.8 (23.6)	1.0 (2.0)
乳类	1 (2.0)	0.5	0 (0)	0.079 (26.3)	7.8 (26.0)	3.6 (36.0)	0.1
蔬菜类	89 (44.5)	19.4 (38.8)	3.3 (33.0)	0.248 (49.6)	13.4 (13.4)	3.6 (18.0)	0.5 (5.0)
水果类	24 (12.0)	4.7 (15.7)	1.5 (15.0)	0.021 (4.2)	2.3 (4.6)	1.5 (30.0)	1.6 (16.0)

(续表)

种类	Pb, μg/kg	Cd, μg/kg	Hg, μg/kg	Cr, mg/kg	Se, μg/kg	Zn, mg/kg	Cu, mg/kg
糖 类	22 (2.2)	0.2	0	0.060	5.8	1.0	0.1
饮料和水	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0.0018	1.5	0.1 (2.0)	0
酒 类	2 (0.4)	0.6	0	0.010	25.2	0.7 (14.0)	0.1
饮料及水	GB5749-85	GB5479-85	GB5479-85			GB13106-91	
其它食品	GB14935-94	GB15201-94	GB2762-94	GB14961-94	GB13105-91	GB13106-91	GB15199-94

1) 括号内数据为占限量的百分数; 2) 尚无汞和镉的限量标准, 该百分数按 GB2762-81 和 GBn238-84 规定值计算。

3. 各类食品中放射性核素含量及其卫生学评价

1990 年总膳食研究中测定了主要的天然放射性核素(²²⁵Ra, ²²⁸Ra, ²¹⁰Pb 和 ²¹⁰Po)和人工放射性核素(⁹⁰Sr 和 ¹³⁷Cs)。它们在各类食品中平均含量如表 8.8 所示。

表 8.8 1990 年我国各类食品中放射性核素平均含量及其与限量标准比较¹⁾

种 类	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po
谷 类	0.19(0.20)	0.03(0.01)	0.04(0.28)	0.10(1.45)	0.07	0.09(1.41)
豆 类	0.33	0.08	0.09	0.26	0.11	0.10
薯 类	0.32(0.97)	0.11(0.12)	0.12(2.55)	0.19(7.92)	0.03	0.03(1.07)
肉 类	0.10(0.34)	0.09(0.01)	0.04(0.10)	0.14	0.20	0.13(0.87)
蛋 类	0.13	0.13	0.19	0.22	0.41	0.32
水产类	0.32(1.10)	0.10(0.01)	0.05(0.13)	0.34(1.62)	3.09	3.76(25.07)
乳 类	0.02(0.05)	0.01(0.00)	0.02(0.50)	0.02(0.82)	0.02	0.02(1.54)
蔬菜类	0.29(0.38)	0.05(0.02)	0.09(0.77)	0.26(4.68)	0.39	0.46(8.68)
水果类	0.04(0.05)	0.01(0.00)	0.03(0.24)	0.06(1.05)	0.03	0.03(0.57)
糖 类	0.02	0.01	0.02	0.02	0.08	0.00
饮料和水	0.01(0.01)	0.02(0.00)	0.00(0.03)	0.01(0.09)	0.00	0.00(0.03)
酒 类	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00

1) 本表数据引自文献[3], 限量标准除饮料及水按 GB4792-84 外, 其余食品均按 GB14882-94, 含量单位均为 Bq/kg (烹调前可食部分), 括号内为占限量%。

由表 8.8 可见, 两种过去一直重视的人工放射性核素在食品中含量都较小。在这四种主要天然放射性核素中, ²¹⁰Po 在水产类食品中平均含量最高, 已达限值的 25% 左右, 与其母体 ²¹⁰Pb 成为当前最值得重视的天然放射性核素。总的看来, 这些放射性核素在我国食品中含量还是安全的。

四、热能、蛋白质、脂肪和碳水化合物的摄入量及其卫生学评价

碳水化合物、脂肪和蛋白质是膳食热能的主要来源。合理的膳食热能来源, 除蛋白质应占 10%~15% 外, 碳水化合物以 60%~70% 为宜, 脂肪来源不宜超过 30%。膳食中脂肪还提供人体所必需的脂肪酸、亚油酸, 并携带脂溶性维生素。热能供给量标准与营养素标准不同, 它是根据不同劳动、年龄人群的平均能量需要制定的; 而营养素供给量则是不同人群需要量的高限,

以保证绝大多数人的营养需要。在我国两次营养调查中这些营养素供给量都是依据膳食组成按食物成分表估算的,而 1990 年总膳食研究中则是实际测定的。热能是按每克蛋白质、脂肪和碳水化合物分别为 4,9 和 4kcal 计算的,考虑到可比性,这里以两次全国营养调查结果进行比较,来说明我国标准人这些营养素的供给量、来源及变化趋势(见表 8.9)^[12,13]。

表 8.9 1992 和 1982 年两次全国营养调查主要营养素日摄入量及来源比较

项 目	1982 年	1992 年	增量, %
热能, kcal	2440	2328.3(97.1) ¹⁾	-4.6
动物性食品 %	7.9	9.3	8.3
植物性食品 %	84.6	71.7	-15.2
蛋白质, g	66.0	68.0(90.3)	3.0
动物性食品 %	11.4	18.9	65.8
植物性食品 %	90.1	80.8	-10.3
占总能量 %	10.8	11.8	9.2
脂肪, g	49.0	58.3	19.0
动物性食品 %	40.3	37.2	-7.7
植物性食品 %	59.6	62.8	5.4
占总能量 %	18.4	22.0	19.6
碳水化合物, g	433.2	378.4	-12.6
占总能量 %	71.0	65.0	-8.4

1) 括号内为占 RDA %。

由表 8.9 可见:1992 年全国每标准人日摄入热能 2328.3kcal(9.740 MJ),比 1982 年下降了 4.6%,仍属正常范围。全国平均膳食热能的 71.7%来自植物性食品,比 1982 年有所下降,而热能的 9.3%来自动物性食品,比 1982 年有所增高。1992 年蛋白质摄入量为 68.0 g,比 1982 年有所增加,处于正常范围的下限,尚应适当提高。从能量的营养素来源来看,蛋白质植物性食品来源下降而动物性食品来源有所提高,蛋白质和脂肪来源热能百分数也有所上升而碳水化合物来源有所下降,表明我国膳食构成呈现结构合理和质量提高的变化趋势。

五、元素和放射性核素摄入量及其卫生学评价

在食品卫生领域,根据对人体是否会产生有害影响,人们把元素分为毒性元素和非毒性元素。然而,近年研究表明所有元素都存在着潜在而相对的毒性,食物中有毒元素实际上是指小量就能引起毒性反应的元素(如 Pb, Cd, Hg 等)。随着科学研究的深入,毒性元素的范围也有变化。营养卫生学重视的是元素对人体的营养意义,把元素分为营养元素和非营养元素,同样其包含范围也在变动之中。地球化学和生物医学常把元素分为常量元素和微量元素。生物医学中,一般把除 O, C, N, H(这四种占有机体总量的 96%)以及 Ca, P, S, K, Na, Cl, Mg(这 7 种占 3.6%)以外的所有元素称为微量元素^[14]。

生命是化学演化的产物,生命过程就是机体与其生存的环境发生持续不断的相互作用,作

用的形式就是物质和能量的交换。近年来,随着微量元素分析技术的提高,以及实验生命化学的发展,发现微量元素与人体健康、疾病的发生和发展等生命现象有着密切的关系。微量元素含量虽微(约 80 种元素总共仅占体重的约 0.4%),却有重要的生物作用。有人把这些微量元素按其生化作用和生物作用分为三大类:生物必需元素、有毒元素以及作用尚未确定的元素^[14]。

为叙述和参阅方便,以下按元素原子序数顺序逐个进行介绍和讨论。

1. 锂,原子序数 3

(1)卫生学意义 具体生物学作用尚未明了。一般认为锂能取代钠,当锂摄入高时,会造成可逆性的肾损伤。锂还有可能通过某些酶的作用而对细胞钾的代谢起作用^[14]。

(2)中国参考人锂的摄入量及食物来源 1992 年总膳食研究测定了各类食品中锂的含量,并估算了摄入量,结果见表 8.10^[4]。

表 8.10 锂摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
谷 类	摄入量	67.29	39.42	24.58	14.69	36.50
	总量%	65.7	70.3	55.2	48.2	62.5
豆 类	摄入量	2.90	0.28	2.03	3.28	2.12
	总量%	2.8	0.5	4.6	10.8	3.6
薯 类	摄入量	4.26	0.90	0.36	1.65	1.79
	总量%	4.2	1.6	0.8	5.4	3.1
肉 类	摄入量	1.73	0.21	0.86	0.84	0.91
	总量%	1.7	0.4	1.9	2.8	1.6
蛋 类	摄入量	1.21	0.37	0.55	1.24	0.84
	总量%	1.2	0.7	1.2	4.1	1.4
水 产 类	摄入量	2.10	0.13	1.90	0.70	1.21
	总量%	2.0	0.2	4.3	2.3	2.1
乳 类	摄入量	0.09	0.76	0.06	0.03	0.24
	总量%	0.1	1.4	0.1	0.1	0.4
蔬 菜 类	摄入量	11.73	10.73	10.73	6.22	9.85
	总量%	11.4	19.1	24.1	20.4	16.9
水 果 类	摄入量	1.06	0.90	0.03	0.04	0.51
	总量%	1.0	1.6	0.1	0.1	0.9
糖 类	摄入量	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
饮料及水	摄入量	9.89	2.32	3.24	1.74	4.30
	总量%	9.7	4.1	7.3	5.7	7.4
酒 类	摄入量	0.09	0.02	0.16	0.04	0.08
	总量%	0.1	0.0	0.4	0.1	0.1
总摄入量		102.36	56.06	44.52	30.48	58.39

由表 8.10 可见,我国参考人锂日摄入量为 $58.39\mu\text{g}$,比现行 ICRP 参考人推荐值 ($2000\mu\text{g}$)低得多^[15]。食物来源主要是谷类和蔬菜类。在我国以北方一区摄入量最高,而南方二区最低。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季摄入量比较,结果见表 8.11 和表 8.12^[4]。

表 8.11 锂摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的性别年龄组差异

组 别	摄入量	饮水, %	其它食品, %
2~7 岁组	33.0	9.8	90.2
8~12 岁组	40.1	10.4	89.6
20~50 岁男子组	66.4	14.2	85.8
20~50 岁女子组	54.8	10.5	89.5

表 8.12 锂摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)季节差异

	摄入量	饮水	其它食品
河北省 春季	75.2	4.8	70.4
秋季	65.7	12.1	53.7
陕西省 春季	23.7	2.2	21.5
秋季	81.7	6.0	75.7
平均值 春季	49.4	3.5	46.0
秋季	73.7	9.0	64.7

由表 8.11 可见,锂摄入量均主要来自食物,来自饮水的贡献较少。表 8.12 表明,河北秋季锂摄入量少于春季,而陕西却显示秋季大于春季。

2. 钠,原子序数 11

(1)卫生学意义 钠为细胞外液中主要阳离子,参与维持体内水电解质平衡,渗透压和酸碱平衡,可增强神经、肌肉的兴奋性^[16]。婴儿在出生第一年内,头两个月每日摄入约 300mg,第 12 个月约 1400mg,成人已没有生长发育方面对钠的需求,只需补充每日的排出(孕妇特殊需要除外)。NaCl 是人类必需的营养物质,在各种食物中都存在。食盐加入食物是为了加工和防腐(如咸菜和咸鱼),或是为了调味。

(2)我国参考人钠的摄入量及食物来源 两次总膳食研究都测定过各类食品中钠含量并估算其摄入量,现将 1992 年估算结果列于表 8.13^[4]。

表 8.13 钠摄入量(mg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
谷 类	摄入量	651.0	2007.6	281.3	189.4	782.3
	总量%	20.0	36.7	7.3	6.8	20.4
豆 类	摄入量	266.8	330.1	332.2	387.6	329.2
	总量%	8.2	6.0	8.6	14.0	8.6
薯 类	摄入量	319.0	1316.9	82.1	647.4	591.4
	总量%	9.8	24.1	2.1	23.4	15.4
肉 类	摄入量	291.1	353.6	578.9	357.2	395.2
	总量%	8.9	6.5	15.0	12.9	10.3
蛋 类	摄入量	174.0	203.1	159.1	271.1	201.8
	总量%	5.3	3.7	4.1	9.8	5.3
水 产 类	摄入量	395.7	29.3	557.7	73.8	264.1
	总量%	12.1	0.5	14.4	2.7	6.9

(续表)

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
乳 类	摄入量	6.0	9.1	4.0	1.2	5.1
	总量%	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1
蔬 菜 类	摄入量	1141.7	1188.9	1870.6	837.1	1259.5
	总量%	35.0	21.7	48.3	30.2	32.8
水 果 类	摄入量	4.2	4.7	0.1	0.0	2.3
	总量%	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
糖 类	摄入量	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
饮料及水	摄入量	9.9	23.2	3.6	2.7	9.9
	总量%	0.3	0.4	0.1	0.1	0.3
酒 类	摄入量	0.6	0.2	0.6	0.2	0.4
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
总 摄 入 量		3260.2	5466.8	3870.3	2867.9	3841.3
占 ESADDI ¹⁾ %		98.8	165.7	117.3	83.9	116.4

1) ESADDI 为 1100~3300mg/d, 此处按高限计算。

由表 8.13 可见,我国参考人日摄入量为 3841.3mg,相当于 ESADDI 上限的 116.4%,应认为摄入量过高。其来源主要是蔬菜类、谷类、薯类和肉类,与 1990 年估算值(3747.3mg)和食物来源基本一致。我国参考人日摄入量与现行 ICRP 参考人推荐值(4.4g)相近^[15]。由于总膳食研究是将调料(包括食盐和酱油等)按烹调习惯加入各类食品而制备食物样品的,调料中元素并入了各类食品,看不出食盐和酱油的贡献。但按第三次营养调查获得的全国参考人日消费食盐 13.9g,则按食物成分表可计算出食盐、酱和酱油所贡献的钠摄入量约占总摄入量的一半以上。地区估算值比较表明,北方二区摄入量最高而南方二区最低,基本一致于 1990 年调查结果。高钠低钾是中国膳食长期以来的缺陷,全国平均钠钾比值(Na/K)达 4.77,比 1990 年情况更为明显,北方一区似较优于其它地区^[4]。降低食盐食用量是减少钠摄入的主要措施。

(3)性别年龄组及季节性差异 在 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋两季摄入量调查,结果比较于表 8.14 和表 8.15^[4]。

表 8.14 钠摄入量(g/d)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	ESADDI,% ¹⁾	饮水,%	其它食品,%
2~7 岁组	16.5	2.931	211	0.4	99.6
8~12 岁组	29.4	3.250	144	0.5	99.5
20~50 岁男子组	63	5.020	152	0.5	99.5
20~50 岁女子组	53	4.512	137	0.4	99.6

1)按 ESADDI 的上限计算。

由表 8.14 可见,各组钠摄入量都过高(绝大部分钠来自食品而不是饮水),尤以 2~7 岁组更高,应引起今后重视。表 8.15 表明河北省春、秋两季钠摄入量很接近,而陕西省则钠摄入量秋季远大于春季。

表 8.15 北方两省钠摄入量(g/d)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	6.509	0.019	6.490
	秋季	6.575	0.041	6.534
陕西省	春季	2.049	0.006	2.043
	秋季	5.232	0.018	5.214
平均值	春季	4.279	0.012	4.266
	秋季	5.904	0.030	5.874

3. 镁,原子序数 12

(1)卫生学意义 镁与钙、磷构成人体骨盐成分。可激活多种酶,参与蛋白质合成和中间代谢,降低神经、肌肉兴奋性,维持心脏正常功能^[16]。

(2)我国参考人镁的摄入量及食物来源 两次总膳食研究都测定过各类食品镁含量并估算其摄入量,现将 1992 年调查估算结果列于表 8.16^[4]。

表 8.16 镁摄入量(mg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
谷 类	摄入量	168.9	209.3	166.4	39.9	146.1
	总量%	50.8	59.1	61.2	29.4	53.4
豆 类	摄入量	40.6	15.5	11.2	10.4	19.4
	总量%	12.2	4.4	4.1	7.7	7.1
薯 类	摄入量	17.9	24.3	1.8	19.9	16.0
	总量%	5.4	6.8	0.7	14.7	5.8
肉 类	摄入量	7.0	6.8	11.7	10.2	8.9
	总量%	2.1	1.9	4.3	7.6	3.3
蛋 类	摄入量	2.6	1.8	1.8	3.7	2.5
	总量%	0.8	0.5	0.7	2.8	0.9
水 产 类	摄入量	12.7	1.4	13.9	3.0	7.7
	总量%	3.8	0.4	5.1	2.2	2.8
乳 类	摄入量	1.2	2.2	0.9	0.3	1.2
	总量%	0.4	0.6	0.3	0.2	0.4
蔬 菜 类	摄入量	60.5	59.2	60.6	43.7	56.0
	总量%	18.2	16.7	22.3	32.2	20.5
水 果 类	摄入量	11.5	8.6	0.4	0.2	5.2
	总量%	3.5	2.4	0.1	0.1	1.9
糖 类	摄入量	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1
	总量%	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0
饮料及水	摄入量	8.7	25.0	2.8	3.7	10.0
	总量%	2.6	7.0	1.0	2.7	3.7
酒 类	摄入量	0.6	0.2	0.4	0.2	0.1
	总量%	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
总摄入量		332.1	354.3	272.1	135.7	273.6
占 ESADDI ¹⁾ %		94.9	101.2	77.7	38.8	78.2

1)ESADDI 为 350mg/d。

由表 8.16 可见,我国参考人日总摄入量为 273.6mg,相当于 ESADDI 的 78.2%。摄入量

偏低,其来源主要是谷类和蔬菜类,与 1990 年估算值(285.2mg)和食物分布相当一致。我国参考人镁日摄入量低于现行 ICRP 参考人推荐值(340mg)^[15]。

地区估算值比较表明,北方两区摄入量明显高于南方两区,北方二区最高而南方二区最低。

(3)性别年龄组及季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋两季摄入量比较,结果示于表 8.17 和表 8.18^[4]。

表 8.17 镁摄入量(mg/d)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	ESADDI,%	饮水,%	其它食品,%
2~7 岁组	16.5	145.2	73	5.4	94.6
8~12 岁组	29.4	200.3	67	14.8	85.2
20~50 岁男子组	63	296.0	85	14.4	85.6
20~50 岁女子组	53	293.7	84	4.3	95.7

表 8.18 北方两省镁摄入量(mg/d)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	527.4	29.1	498.2
	秋季	555.1	37.9	517.2
陕西省	春季	174.3	5.9	168.4
	秋季	307.0	7.7	299.3
平均值	春季	350.8	17.5	333.3
	秋季	431.0	22.8	408.2

由表 8.17 可见,4 个年龄组的镁摄入量都偏低,尤以 8~12 岁组为甚。大部分镁来自食品而饮水提供较少。表 8.18 表明,两省秋季摄入量均大于春季。

4. 铝,原子序数 13

(1)卫生学意义 生物学作用尚不清楚。铝在体内吸收很差,因为形成胶状氢氧化物。对铝的关注点主要是其过量摄入后的毒性影响。据称长期摄入铝会影响细胞和组织的磷酸化过程和若干消化酶活性^[14]。

(2)中国参考人铝的摄入量及食物来源 1992 年总膳食研究测定了各类食品含量,并估算了摄入量,结果见表 8.19^[4]。

表 8.19 铝摄入量(mg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
谷 类	摄入量	20.79	40.84	26.48	6.73	23.71
	总量%	66.0	74.1	76.6	35.6	67.7
豆 类	摄入量	1.00	2.14	1.19	1.31	1.41
	总量%	3.2	3.9	3.4	6.9	4.0
薯 类	摄入量	1.97	2.96	0.13	1.59	1.66
	总量%	6.2	5.4	0.4	8.4	4.7
肉 类	摄入量	0.92	0.63	0.80	1.14	0.87
	总量%	2.9	1.1	2.3	6.0	2.5

(续表)

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
蛋 类	摄入量	0.28	0.26	1.06	0.23	0.46
	总量%	0.9	0.5	3.1	1.2	1.3
水 产 类	摄入量	1.33	0.11	1.67	0.33	0.86
	总量%	4.2	0.2	4.8	1.7	2.4
乳 类	摄入量	0.08	3.04	0.03	0.01	0.79
	总量%	0.2	5.5	0.1	0.0	2.2
蔬 菜 类	摄入量	4.12	4.10	2.95	7.33	4.62
	总量%	13.1	7.4	8.5	38.8	13.2
水 果 类	摄入量	0.80	0.94	0.02	0.02	0.44
	总量%	2.5	1.7	0.0	0.1	1.2
糖 类	摄入量	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02
	总量%	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
饮料及水	摄入量	0.15	0.08	0.22	0.21	0.15
	总量%	0.5	0.1	0.6	1.1	0.4
酒 类	摄入量	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01
	总量%	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
总摄入量		31.5	55.1	34.6	18.9	35.0

由表 8.19 可见,我国参考人铝的摄入量为 35.0mg,略低于现行 ICRP 参考人推荐值 (45mg)^[15]。食物来源主要是谷类和蔬菜类。在我国以北方二区摄入量最高,而南方二区最低。

(3)性别年龄组和季节差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和陕西省春秋季节摄入量比较,性别年龄组比较结果见表 8.20^[4]。

表 8.20 铝摄入量(mg/d)的性别年龄组差异

组 别	摄入量	饮水,%	其它食品,%
2~7 岁组	17.81	0.3	99.7
8~12 岁组	31.50	0.2	99.7
20~50 岁男子组	43.54	0.8	99.2
20~50 岁女子组	41.33	0.6	99.4

由表 8.20 可见,铝摄入量绝大部分来自食物,饮水贡献极少。季节比较表明陕西省秋季铝摄入量大于春季。

5. 磷,原子序数 15

(1)卫生学意义 磷是骨骼、牙齿主要成分,参与许多物质代谢,构成磷脂,为细胞膜的主要成分^[16]。磷也是重要营养素之一。人类的食物中富含磷,所以人类营养性的磷缺乏是罕见的。

(2)我国参考人磷的摄入量及食物来源 两次总膳食研究都测定了各类食品中磷含量并估算了摄入量,现将 1992 年估算结果示于表 8.21^[4]。由表可见,我国参考人日摄入量为 933.1mg,相当于美国 RDA 的 116.6%,其来源主要是谷类和蔬菜类,与 1990 年调查估算结果(866.5mg)和来源分布一致,摄入量比现行 ICRP 参考人推荐值(1.4g)低^[15]。地区比较表明,我国磷摄入量以南方二区最低,其它三区相差不大。而在 1990 年调查结果中表明,北方两

区摄入量大于南方两区^[3]。

表 8.21 磷摄入量(mg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
谷 类	摄入量	539.8	678.7	784.8	258.1	565.3
	总量%	54.1	66.9	71.4	41.6	60.6
豆 类	摄入量	79.2	73.4	53.5	62.5	67.1
	总量%	7.9	7.2	4.9	10.1	7.2
薯 类	摄入量	30.0	51.9	4.0	48.5	33.6
	总量%	3.0	5.1	0.4	7.8	3.6
肉 类	摄入量	39.7	51.3	55.2	72.7	54.7
	总量%	4.0	5.1	5.0	11.7	5.9
蛋 类	摄入量	47.0	26.9	26.1	55.8	39.0
	总量%	4.7	2.7	2.4	9.0	4.2
水 产 类	摄入量	103.0	9.6	73.1	39.1	56.2
	总量%	10.3	0.9	6.7	6.3	6.0
乳 类	摄入量	9.4	1.9	7.9	3.0	5.6
	总量%	0.9	0.2	0.7	0.5	0.6
蔬 菜 类	摄入量	130.1	111.0	92.3	79.0	103.1
	总量%	13.0	10.9	8.4	12.7	11.0
水 果 类	摄入量	17.2	9.6	0.7	0.3	7.0
	总量%	1.7	0.9	0.1	0.1	0.7
糖 类	摄入量	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
饮料及水	摄入量	0.5	0.4	0.5	1.6	0.8
	总量%	0.1	0.0	0.0	0.3	0.1
酒 类	摄入量	1.2	0.3	0.8	0.4	0.7
	总量%	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
总摄入量		997.1	1015.0	1099.0	621.0	933.1
占 RDA ¹⁾		124.6	126.9	137.4	77.6	116.6

1)我国尚无磷的 RDA,这里引用美国推荐值 800mg/d。

(3)性别年龄组及季节差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋两季摄入量调查,其估算结果比较于表 8.22 和表 8.23^[4]。

表 8.22 磷摄入量(mg/d)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	RDA ¹⁾ ,%	饮水, %	其它食品, %
2~7 岁组	16.5	494.4	62	0.2	99.8
8~12 岁组	29.4	715.5	72	0.2	99.8
20~50 岁男子组	63	1020	128	0.2	99.8
20~50 岁女子组	53	840.1	105	0.2	99.8

1)引用美国的 RDA。

表 8.23 北方两省磷摄入量(mg/d)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	1037.0	0.0	1037.0
	秋季	1364.4	2.2	1362.2
陕西省	春季	613.5	1.0	612.5
	秋季	944.7	2.6	942.1
平均值	春季	825.2	0.5	824.8
	秋季	1154.6	2.4	1152.2

由表 8.22 可见,磷的摄入量已满足营养要求,绝大部分来自食品而不是饮水。表 8.23 表明,秋季磷的摄入量大于春季。

6. 氯,原子序数 17

(1)卫生学意义 氯是细胞外液的主要阴离子,参与维持体内水电解质平衡、渗透压和酸碱平衡,为胃酸的主要成分,并可激活唾液淀粉酶,有助于淀粉的消化^[16]。

(2)我国参考人氯的摄入量及食物来源 1992 年总膳食研究中测定了各类食品氯含量并估算其摄入量,现将该估算结果示于表 8.24^[4]。

表 8.24 氯摄入量(g/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
谷 类	摄入量	0.693	3.089	0.759	0.224	1.191
	总量%	12.7	34.7	9.8	3.8	17.0
豆 类	摄入量	0.275	0.410	0.424	0.351	0.365
	总量%	5.0	4.6	5.5	5.9	5.2
薯 类	摄入量	0.418	1.758	0.112	0.982	0.818
	总量%	7.6	19.8	1.4	16.5	11.6
肉 类	摄入量	0.470	0.491	1.058	0.587	0.651
	总量%	8.6	5.5	13.6	9.8	9.3
蛋 类	摄入量	0.243	0.270	0.219	0.371	0.276
	总量%	4.4	3.0	2.8	6.2	3.9
水 产 类	摄入量	0.520	0.042	0.709	0.096	0.342
	总量%	9.5	0.5	9.1	1.6	4.9
乳 类	摄入量	0.012	0.011	0.015	0.006	0.011
	总量%	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2
蔬 菜 类	摄入量	2.822	2.793	4.448	3.340	3.351
	总量%	51.6	31.4	57.3	56.0	47.7
水 果 类	摄入量	0.005	0.007	0.005	0.000	0.004
	总量%	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
糖 类	摄入量	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
饮料及水	摄入量	0.013	0.019	0.017	0.006	0.014
	总量%	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
酒 类	摄入量	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
总摄入量		5.473	8.891	7.768	5.963	7.024
占 ESADDI ¹⁾ %		107.3	174.3	152.3	116.9	137.7

1)ESADDI 为 1.7~5.1g/d,此处按上限计算。

由表 8.24 可见,我国参考人日摄入量为 7.024g,相当于 ESADDI 上限的 137.7%,表明摄入量过高。其来源主要是蔬菜类、谷类和薯类,与钠摄入情况相似,这些摄入量的相当大部分来自某些调料(如食盐和酱油等)。我国氯摄入量高于现行 ICRP 参考人推荐值(5.2g)^[15]。地区估算值比较表明,北方二区最高而北方一区最低。高氯也是我国膳食长期以来缺陷之一,和钠一样,降低食盐消费量是减少氯摄入量的主要措施。

(3)性别年龄组及季节差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和陕西省春秋两季摄入量比较,性别年龄组比较结果示于表 8.25^[4]。

表 8.25 氯摄入量(g/d)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	ESADDI ¹⁾ ,%	饮水,%	其它食品,%
2~7 岁组	16.5	4.085	191	0.3	99.6
8~12 岁组	29.4	4.383	126	0.5	99.5
20~50 岁男子组	63	7.556	148	0.4	99.6
20~50 岁女子组	53	7.562	148	0.2	99.8

1)按 ESADDI 的上限计算。

由表 8.25 可见,四个年龄组的氯摄入量都过高(绝大部分氯摄入量来自食品而不是饮水),2~7 岁组更为突出,应引起今后重视。季节性比较表明陕西省秋季氯摄入量比春季少得多。

7. 钾和⁴⁰K,原子序数 19

(1)卫生学意义 钾参与人体糖、蛋白质和能量代谢,维持细胞内、外渗透压和酸碱平衡,加强神经肌肉的兴奋性以及维持心肌功能。钾为细胞内液的主要阳离子^[16]。⁴⁰K 是它的最重要的放射性核素,半衰期为 13 亿年,仅占天然钾的 0.0118%。⁴⁰K 在钾中总保持一定的富集度,其测定可按钾含量计算。⁴⁰K 所占世界平均内照射年有效剂量对成人为 165 μ Sv,对儿童为 185 μ Sv,是世界公认除氡及其子体以外天然放射性所致内剂量的最大贡献者。由于钾在人体内受平衡调节,其内剂量主要来自对各年龄组人体的直接测量或尸体样品分析结果估算^[17]。迄今未见有食物摄入钾引起中毒的报道。

(2)我国参考人钾的摄入量及食物来源 两次总膳食研究和 1982~1985 年全国食品放射性调查^[18]中都测定过各类食品中钾含量并估算了摄入量,现将 1992 年估算结果列于表 8.26^[4]。

表 8.26 钾摄入量(mg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
谷 类	摄入量	417.6	532.4	326.2	89.1	341.3
	总量%	42.7	47.1	47.6	17.0	41.1
豆 类	摄入量	44.7	32.7	31.7	32.3	35.3
	总量%	4.6	2.9	4.6	6.1	4.3
薯 类	摄入量	59.3	126.8	5.8	88.4	70.1
	总量%	6.1	11.2	0.8	16.8	8.4
肉 类	摄入量	52.1	58.5	75.5	87.4	68.4
	总量%	5.3	5.2	11.0	16.7	8.2

(续表)						
种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
蛋 类	摄入量	17.1	8.7	10.9	18.2	13.7
	总量%	1.7	0.8	1.6	3.5	1.7
水 产 类	摄入量	14.9	1.8	45.8	18.8	20.3
	总量%	1.5	0.2	6.7	3.6	2.4
乳 类	摄入量	1.6	2.0	1.5	0.5	1.4
	总量%	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
蔬 菜 类	摄入量	229.2	262.1	181.0	181.1	213.4
	总量%	23.4	23.2	26.4	34.5	25.7
水 果 类	摄入量	140.5	99.0	5.6	1.1	61.5
	总量%	14.3	8.8	0.8	0.2	7.4
糖 类	摄入量	0.0	0.0	0.4	0.5	0.2
	总量%	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
饮料及水	摄入量	1.5	6.4	0.6	6.9	3.9
	总量%	0.2	0.6	0.1	1.3	0.5
酒 类	摄入量	0.7	0.3	0.4	0.4	0.4
	总量%	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
总摄入量		979.1	1130.7	685.6	524.6	830.0
占 ESADDI ¹⁾ %		52.2	60.3	36.6	28.0	44.3

1)ESADDI 为 1875~5625mg,此处按低限计算。

由表 8.26 可见,我国参考人钾日摄入量为 830.0mg,相当于 ESADDI 下限的 44.3%,摄入量过低。其来源主要是谷类和蔬菜类,与 1990 年调查估算值(1119.3mg)和来源分布基本一致。我国参考人日摄入量也比现行 ICRP 参考人推荐值(3.3g)低得多^[15]。地区估算值比较表明,钾摄入量北方两区大于南方两区,基本一致于 1990 年调查结果。但这次南方一区大于南方二区,而在 1990 年研究中南方一区却稍小于南方二区。

(3)性别年龄组及季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋两季摄入量调查,其估算结果比较于表 8.27 和表 8.28^[4]。

表 8.27 钾摄入量(mg/d)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	ESADDI, ¹⁾ %	饮水,%	其它食品,%
2~7 岁组	16.5	546.1	70	0.6	99.4
8~12 岁组	29.4	622.5	49	0.7	99.3
20~50 岁男子组	63	916.0	49	0.7	99.3
20~50 岁女子组	53	814.5	43	0.6	99.3

1)按 ESADDI 的下限计算。

表 8.28 北方两省钾摄入量(mg/d)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	572.2	2.4	569.9
	秋季	771.3	6.7	764.6
陕西省	春季	403.0	2.4	400.6
	秋季	1375.8	2.0	1373.9
平均值	春季	487.6	2.4	485.2
	秋季	1073.6	4.4	1069.2

由表 8.27 可见,4 个组钾摄入量都过低(绝大部分钾来自食品而不是饮水),尤以成年组和儿童组为甚,应引起今后重视。表 8.28 表明,秋季钾摄入量大于春季。

8. 钙,原子序数 20

(1)卫生学意义 钙是骨骼和牙齿主要成分,也是维持人体正常血凝的重要因素,能降低毛细血管通透性和神经、肌肉兴奋性,与钾离子拮抗以维持心肌正常功能,在肌细胞内激活肌纤凝蛋白 ATP 酶,促进肌肉收缩^[16]。钙是重要的营养素之一。

(2)我国参考人钙的摄入量及食物来源 两次总膳食研究中都测定过各类食品中钙含量并估算了摄入量,现将 1992 年调查估算结果列于表 8.29^[4]。

表 8.29 钙摄入量(mg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
谷 类	摄入量	127.5	211.3	119.9	25.4	121.0
	总量%	25.5	42.2	26.3	6.7	26.4
豆 类	摄入量	67.4	42.0	63.5	44.3	54.3
	总量%	13.5	8.4	13.9	11.7	11.9
薯 类	摄入量	20.9	20.7	1.0	23.7	16.6
	总量%	4.2	4.1	0.2	6.3	3.6
肉 类	摄入量	3.4	4.8	9.1	9.9	6.8
	总量%	0.7	1.0	2.0	2.6	1.5
蛋 类	摄入量	11.7	7.6	6.7	26.0	13.0
	总量%	2.3	1.5	1.5	6.9	2.8
水 产 类	摄入量	76.1	2.1	60.5	14.9	38.4
	总量%	15.2	0.4	13.3	4.0	8.4
乳 类	摄入量	4.8	13.5	4.8	1.6	6.2
	总量%	1.0	2.7	1.1	0.4	1.3
蔬 菜 类	摄入量	139.2	158.6	176.5	219.7	173.5
	总量%	27.9	31.7	38.8	58.2	37.9
水 果 类	摄入量	12.9	8.2	0.6	0.3	5.5
	总量%	2.6	1.6	0.1	0.1	1.2
糖 类	摄入量	0.2	0.2	0.7	0.7	0.4
	总量%	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1
饮料及水	摄入量	34.9	31.1	11.2	10.6	22.0
	总量%	7.0	6.2	2.5	2.8	4.8
酒 类	摄入量	0.4	0.2	1.0	0.2	0.4
	总量%	0.1	0.0	0.2	0.0	0.1
总 摄 入 量		499.4	500.3	455.6	377.2	458.1
占 RDA ¹⁾ %		62.4	62.5	57.0	47.2	57.3

1)RDA 为 800mg。

由表 8.29 可见,我国参考人日摄入量为 458.1mg,占 RDA 的 57.3%,属相对不足的国家。与 1990 年调查估算值(582mg)基本一致,远低于现行 ICRP 参考人推荐值(1100mg)^[15]。其来源与西方国家主要来自奶类的特点明显不同,主要是蔬菜类、谷类和豆类。由四大区的结果比较可见,北方钙摄入量大于南方,以南方二区最低,这与 1990 年调查结果是一致的。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋两季摄入量调查,其估算结果比较于表 8.30 和表 8.31^[4]。

表 8.30 钙摄入量(mg/d)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	RDA, %	饮水, %	其它食品, %
2~7 岁组	16.5	259.5	34	3.4	96.6
8~12 岁组	29.4	405.3	44	2.8	97.2
20~50 岁男子组	63	586.2	73	2.6	97.4
20~50 岁女子组	53	510.8	64	3.4	96.6

表 8.31a 北方两省钙摄入量(mg/d)季节差异

	摄入量	饮水	其它食品
河北省 春季	825.9	10.0	851.9
秋季	965.0	7.6	957.4
陕西省 春季	299.9	4.1	295.8
秋季	422.7	13.8	408.9
平均值 春季	562.9	7.0	555.8
秋季	693.8	10.7	683.2

由表 8.30 可见,在 4 个年龄组中 2~7 岁组钙摄入量低的现象更为严重,绝大部分钙来自食品而不是饮水。表 8.31a 表明,秋季钙摄入量看来大于春季。

9. 钬,原子序数 21

(1)卫生学意义 生物学作用不明。

(2)我国参考人钬的摄入量及食物来源 1992 年总膳食研究测定了各类食品中钬的含量并估算了摄入量,结果见表 8.31b^[4]。

表 8.31b 钬摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
谷 类	摄入量	4.01	4.67	2.36	1.37	3.10
	总量%	66.7	74.7	58.1	43.4	63.8
豆 类	摄入量	0.18	0.32	0.23	0.23	0.24
	总量%	3.0	5.1	5.7	7.3	4.9
薯 类	摄入量	0.26	0.34	0.02	0.31	0.23
	总量%	4.3	5.4	0.5	9.8	4.7
肉 类	摄入量	0.13	0.13	0.14	0.15	0.14
	总量%	2.2	2.1	3.4	4.7	2.9
蛋 类	摄入量	0.02	0.03	0.09	0.07	0.05
	总量%	0.3	0.5	2.2	2.2	1.0
水 产 类	摄入量	0.19	0.01	0.35	0.06	0.15
	总量%	3.2	0.2	8.6	1.9	3.1
乳 类	摄入量	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
	总量%	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0
蔬 菜 类	摄入量	1.02	0.65	0.83	0.95	0.86
	总量%	17.0	10.4	20.4	30.1	17.7
水 果 类	摄入量	0.18	0.08	0.01	0.00	0.07
	总量%	3.0	1.3	0.2	0.0	1.4
糖 类	摄入量	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00

(续表)

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
饮 料 及 水	总量%	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
	摄入量	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
	总量%	0.2	0.2	0.5	0.6	0.4
酒 类	摄入量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	摄入量	6.01	6.25	4.06	3.16	4.86

由表 8.31 可见,我国参考人日摄入量为 $4.86\mu\text{g}$ 。食物来源主要是谷类和蔬菜类。我国北方两区摄入量大于南方两区,北方二区最高而南方二区最低。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和陕西省春秋季节摄入量比较,性别年龄组比较结果见表 8.32^[4]。

表 8.32 钬摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的性别年龄组差异

组 别	摄入量	饮水, %	其它食品, %
2~7 岁组	2.74	0.3	99.7
8~12 岁组	9.57	0.1	99.9
20~50 岁男子组	4.75	0.7	99.3
20~50 岁女子组	13.82	0.1	99.8

由表 8.32 可见,钬摄入量主要来自食物。季节性比较表明陕西省秋季摄入量大于春季。

10. 铬,原子序数 24

(1)卫生学意义 铬对胰岛素利用有促进作用。三价铬缺乏时表现为糖耐量下降,严重者可导致糖尿和血糖症。铬也与脂质代谢有明显关系。铬的环境污染来自铬的开采、冶炼和铬化物的制造和应用。六价铬的毒性远高于三价铬^[16]。尽管在过多摄入时其毒性引人重视,但一般还是作为必需微量元素看待。

(2)我国参考人铬的摄入量及食物来源 第二次总膳食研究测定了各类食品中铬含量并估算了摄入量,现将该次估算结果列于表 8.33^[4]。

表 8.33 铬摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
谷 类	摄入量	89.7	436.9	56.7	299.2	220.6
	总量%	55.7	84.9	21.3	67.7	63.8
豆 类	摄入量	10.5	3.2	3.1	12.0	7.2
	总量%	6.5	0.6	1.2	2.7	2.1
薯 类	摄入量	7.0	22.9	1.2	24.5	13.9
	总量%	4.3	4.4	0.4	5.5	4.0
肉 类	摄入量	3.0	8.2	32.5	36.4	20.0
	总量%	1.9	1.6	12.2	8.2	5.8
蛋 类	摄入量	2.7	2.7	11.0	18.6	8.7
	总量%	1.6	0.5	4.1	4.2	2.5
水 产 类	摄入量	7.6	0.9	17.1	6.0	7.9

(续表)

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
乳 类	总量%	4.7	0.2	6.4	1.4	2.3
	摄入量	0.6	0.6	1.7	0.6	0.9
	总量%	0.4	0.1	0.6	0.1	0.2
蔬 菜 类	摄入量	35.4	35.9	142.4	42.9	64.1
	总量%	22.0	7.0	53.5	9.7	18.5
水 果 类	摄入量	3.3	2.6	0.0	0.1	1.5
	总量%	2.0	0.5	0.0	0.0	0.4
糖 类	摄入量	0.2	0.3	0.1	0.0	0.2
	总量%	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
饮料及水	摄入量	0.8	0.5	0.3	1.6	0.8
	总量%	0.5	0.1	0.1	0.4	0.2
酒 类	摄入量	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1
	总量%	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
总摄入量		161.0	514.7	266.2	442.0	345.9
占 ESADDI ¹⁾ %		80.5	257.4	133.1	221.0	173.0

1)ESADDI 为 50~200μg/d,本表按上限计算。

由表 8.33 可见,我国参考人日摄入量为 345.9μg,相当于 ESADDI 上限的 173.0%,摄入量过高,其来源主要是谷类和蔬菜类。比 ICRP 参考人推荐值(150μg)^[15]高得多。地区估算值比较表明,北方二区最高,其次是南方二区和南方一区,北方一区最低。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和陕西省春秋季节摄入量比较,性别年龄组比较结果见表 8.34^[4]。

表 8.34 铬摄入量(μg/d)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	ESADDI ¹⁾ ,%	饮水, %	其它食品, %
2~7 岁组	16.5	280.9	201	0.3	99.6
8~12 岁组	29.4	321.5	161	0.6	99.4
20~50 岁男子组	63	396.8	198	0.4	99.6
20~50 岁女子组	53	254.6	127	0.9	99.1

1)按 ESADDI 的上限计算。

由表 8.34 可见,4 个年龄组的铬摄入量都过高,尤以幼儿组更为突出。绝大部分铬来自食物而不是饮水。陕西省季节比较表明,秋季摄入量大于春季。

11. 锰,原子序数 25

(1)卫生学意义 锰是多糖聚合酶及半乳糖转移酶的辅基,与蛋白质、核酸的合成有关,对葡萄糖利用也有一定影响^[16]。缺锰使骨骼发育异常,锰中毒的典型表现是中枢神经系统锥体外束受损害引起的症候群^[14]。

(2)我国参考人锰的摄入量及食物来源 两次总膳食研究都测定了各类食品中铬含量并估算了摄入量,现将 1992 年调查估算结果列于表 8.35^[4]。

表 8.35 锰摄入量(mg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
谷 类	摄入量	2.7	3.3	4.5	1.8	3.1
	总量%	70.6	76.1	73.0	53.5	69.5
豆 类	摄入量	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
	总量%	10.5	8.6	4.4	8.1	7.5
薯 类	摄入量	0.1	0.2	0.0	0.5	0.2
	总量%	3.0	5.5	0.2	14.0	4.7
肉 类	摄入量	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0
	总量%	1.3	0.8	0.6	1.6	1.0
蛋 类	摄入量	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	总量%	0.3	0.3	0.1	0.4	0.3
水 产 类	摄入量	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1
	总量%	3.6	0.2	3.9	1.6	2.5
乳 类	摄入量	0.0	0.0	0.0	0	0.0
	总量%	0.3	0.0	0.0	0	0.1
蔬 菜 类	摄入量	0.3	0.2	0.6	0.4	0.4
	总量%	8.5	5.5	9.9	12.2	9.0
水 果 类	摄入量	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	总量%	1.8	0.9	0.2	0.0	0.7
糖 类	摄入量	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	总量%	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
饮料及水	摄入量	0	0.1	0.5	0.3	0.2
	总量%	0	2.2	7.4	8.4	4.7
酒 类	摄入量	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	总量%	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
总 摄 入 量		3.9	4.3	6.1	3.3	4.4
占 ESADDI ¹⁾ %		78.0	86.0	122.0	66.0	88.0

1)ESADDI 为 2.5~5.0mg/d,此处按上限计算。

由表 8.35 可见,我国参考人日摄入量为 4.4mg,处于 ESADDI 范围内,较为合适。其食物来源主要是谷类,其次是蔬菜和豆类。此摄入量稍低于 1990 年估算值(5.9mg),但稍高于 ICRP 参考人推荐值(3.7mg)^[15]。地区估算值比较表明,以南方一区最高,南方二区最低。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季节摄入量比较,结果示于表 8.36 和表 8.37^[4]。

表 8.36 锰摄入量(mg/d)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	ESADDI ¹⁾ ,%	饮水,%	其它食品,%
2~7 岁组	16.5	4.5	200	2.2	97.8
8~12 岁组	29.4	5.4	135	1.8	98.1
20~50 岁男子组	63	7.8	156	1.3	98.7
20~50 岁女子组	53	6.6	132	1.5	98.5

1)按 ESADDI 的上限计算。

表 8.37 北方两省锰摄入量(mg/d)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	6.2	0.0	6.2
	秋季	7.0	0.2	6.8
陕西省	春季	4.4	0.0	4.4
	秋季	10.5	0.0	10.5
平均值	春季	5.3	0.0	5.3
	秋季	8.8	0.1	8.6

由表 8.36 可见,4 个年龄组的锰摄入量都有些偏高,幼儿组尤为明显。几乎全部锰由食物摄入,来自饮水的极少。表 8.37 表明,秋季摄入量大于春季。

12. 铁,原子序数 26

(1)卫生学意义 人体大部分铁存在于血红蛋白、肌红蛋白、细胞色素氧化酶和过氧化酶,小部分作为贮存铁,以含铁血黄素形式存在于肝、脾和骨髓中。主要功能是参与氧和二氧化碳运输,在生物氧化中起重要作用^[14,16]。缺铁可引起贫血、红细胞和血红蛋白含量降低;过多可引起恶心、呕吐。铁还可能与二氧化硫及致癌物质发生协同效应^[14]。食物中铁的吸收率低(约 10%)。食物中含铁化合物分为血红素铁和非血红素铁,前者吸收率约 23%,而后者仅 3%~8%。我国膳食中血红素铁的含量低^[5]。

(2)我国参考人铁的摄入量及食物来源 两次总膳食研究都测定了各类食品中铁含量并估算了摄入量,现将 1992 年估算结果列于表 8.38^[4]。

表 8.38 铁摄入量(mg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
谷 类	摄入量	8.9	23.6	12.3	3.3	12.0
	总量%	44.5	59.7	54.3	16.8	47.3
豆 类	摄入量	1.9	2.7	1.6	2.9	2.3
	总量%	9.5	6.9	6.9	15.0	9.0
薯 类	摄入量	1.2	3.0	0.1	1.6	1.5
	总量%	5.9	7.6	0.5	8.1	5.8
肉 类	摄入量	0.5	1.0	2.0	1.8	1.3
	总量%	2.6	2.5	8.8	9.4	5.2
蛋 类	摄入量	0.8	0.4	0.5	0.9	0.6
	总量%	3.8	1.1	2.1	4.8	2.5
水 产 类	摄入量	1.1	0.1	1.5	0.5	0.8
	总量%	5.4	0.3	6.7	2.6	3.2
乳 类	摄入量	0.0	0.0	0.0	0	0.0
	总量%	0.1	0.0	0.0	0	0.0
蔬 菜 类	摄入量	5.0	7.8	4.4	8.0	6.3
	总量%	25.1	19.9	19.5	40.8	24.8
水 果 类	摄入量	0.5	0.7	0.0	0.0	0.3
	总量%	2.6	1.9	0.1	0.1	1.3
糖 类	摄入量	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
	总量%	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1
饮料及水	摄入量	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
	总量%	0.3	0.1	0.6	0.7	0.4

(续表)

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
酒 类	摄入量	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1
	总量%	0.1	0.0	0.2	1.6	0.4
总 摄 入 量		20.1	39.5	22.6	19.6	25.4
占 RDA ¹⁾ %		167.5	329.2	188.3	163.3	211.7

1)RDA 为 12mg/d。

由表 8.38 可见,我国参考人日摄入量为 25.4mg,达 RDA 的 211.7%,看来似乎过高。其食物来源主要是谷类和蔬菜类,动物性食物仅占 11%,远低于西方膳食,估计膳食中铁吸收率也会较低。在 1990 年总膳食研究中曾对血红蛋白铁和非血红蛋白铁分别进行测定并计算了可利用铁占总铁摄入量的份额(见表 8.39)^[3]。

表 8.39 我国膳食中不同状态铁含量($\mu\text{g/g}$)及其所致摄入量(mg/d)和可利用率(%)

	总 铁		血红素铁				非血红素铁				可利用铁	
	C ¹⁾	I ²⁾	C	I	A ³⁾ %	AQ ⁴⁾	C	I	A%	AQ	I	总铁%
北方	18.80	27.67	6.08	8.94	20.0 ²⁾	1.79	12.72	18.73	5.70	1.07	2.86	10.3
南方	12.85	17.53	3.35	4.58	20.0 ²⁾	0.92	9.50	12.95	6.03	0.78	1.70	9.7
平均	15.83	22.60	4.72	6.76	20.0	1.35	11.11	15.84	5.87	0.93	2.28	10.0

注:1)C 为含量;2)I 为 10 类食品(不包括饮料和酒类)的摄入量;3)A 为利用率;4)AQ 为可利用量。

表 8.39 表明,可利用铁仅为 2.28mg,占该次调查总铁摄入量(22.6mg)的约 10%。文献报道肉类、家禽和鱼类提供人体易吸收利用的铁较多,但在我国由于消费量少,仅占很少部分(约 3.7%)^[3]。第三次全国营养调查血红蛋白测定结果表明,3 岁以下儿童为贫血的高发人群,农村高于城市;3~5 岁儿童患病率较低;6~10 岁患病率又上升;青壮年男性患病率均在 10%上下,而女性明显偏高;中、老年患病率又升高^[13]。这些情况表明,尽管全国各年龄组贫血患病率明显低于以往调查,这可能与人群膳食质量提高有关,但今后进一步提高动物性食品食用量是有意义的。

1992 年我国参考人铁摄入量稍高于 1990 年调查结果(22.7mg),也高于 ICRP 参考人推荐值(16mg)^[15]。地区估算值比较表明,北方二区比其它三区高得多,与 1990 年调查结果一致,而南方二区最低。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季节摄入量比较,结果列于表 8.40 和表 8.41^[4]。

表 8.40 铁摄入量(mg/d)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	RDA,%	饮水,%	其它食品,%
2~7 岁组	16.5	15.0	150	0.7	99.3
8~12 岁组	29.4	17.5	156	0	100
20~50 岁男子组	63	27.0	225	0.4	99.6
20~50 岁女子组	53	25.0	139	0.4	99.6

表 8.41 北方两省铁摄入量(mg/d)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	41.8	0.1	41.7
	秋季	33.9	0.1	33.7
陕西省	春季	14.2	0.2	14.0
	秋季	27.3	0.1	27.2
平均值	春季	28.0	0.2	27.8
	秋季	30.6	0.1	30.4

由表 8.40 可见,4 个年龄组的铁摄入量表面上看来似乎都还偏高,实际情况并非如此,因为在我国膳食中血红素铁比例少而导致吸收率低,本质上看很可能不足。这可以从第三次营养调查血红蛋白检验结果获得支持,即成年妇女和儿童贫血患病率高。由表 8.41 可见,河北省铁摄入量秋季稍低于春季,而陕西省则秋季明显为高。

13. 钴,原子序数 27

(1)卫生学意义 钴是维生素 B₁₂的主要成分,它可提高叶酸利用率,从而影响核酸和蛋白质生物合成,促进红细胞发育和成熟,其另一种形式——甲钴胺素参与胆碱合成,有助于从肝脏除去脂肪^[16]。缺钴引起食欲不振和皮肤粗糙;过多则引起红细胞增多症并影响红细胞的正常生长,引起肺部病变、胃肠受损等^[14]。

(2)我国参考人钴的摄入量及食物来源 1992 年总膳食研究测定了各类食品中钴含量并估算了摄入量,其结果列于表 8.42。

表 8.42 钴摄入量(μg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
谷 类	摄入量	9.12	49.78	6.38	8.78	18.52
	总量%	40.7	86.3	8.6	22.6	38.3
豆 类	摄入量	0.18	0.42	3.63	4.53	2.19
	总量%	0.8	0.7	4.9	11.6	4.5
薯 类	摄入量	0.32	2.56	0.29	5.14	2.08
	总量%	1.4	4.4	0.4	13.2	4.3
肉 类	摄入量	0.39	0.40	7.77	0.78	2.34
	总量%	1.7	0.7	10.4	2.0	4.8
蛋 类	摄入量	0.28	0.16	0.97	1.71	0.78
	总量%	1.2	0.3	1.3	4.4	1.6
水 产 类	摄入量	1.69	0.06	14.81	0.74	4.32
	总量%	7.5	0.1	19.9	1.9	8.9
乳 类	摄入量	0.03	0.07	0.12	0.11	0.08
	总量%	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2
蔬 菜 类	摄入量	7.10	2.10	40.45	17.05	16.68
	总量%	31.7	3.6	54.3	43.9	34.5
水 果 类	摄入量	1.37	1.89	0.04	0.03	0.83
	总量%	6.1	3.3	0.0	0.1	1.7
糖 类	摄入量	0.03	0.03	0.01	0.00	0.02
	总量%	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
饮料及水	摄入量	1.88	0.23	0	0	0.53
	总量%	8.4	0.4	0.0	0.0	1.1

(续表)

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
酒 类	摄入量	0.01	0.01	0.02	0	0.01
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
总 摄 入 量		22.40	57.71	74.49	38.87	48.38

由表 8.42 可见,我国参考人日摄入量为 $48.38\mu\text{g}$,目前尚未对钴制定摄入量限值,也未发现人类有钴缺乏的现象,但比起 ICRP 参考人推荐值($300\mu\text{g}$)^[15],我国摄入量是相当低的。钴的食物来源主要是谷类和蔬菜类。地区摄入量比较表明,我国南方一区摄入量最高,其次是北方二区,南方二区,北方一区最低。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季节摄入量比较,结果示于表 8.43 和表 8.44^[4]。

表 8.43 钴摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的性别年龄组差异

组 别	摄入量	饮水, %	其它食品, %
2~7 岁组	16.9	8.2	91.8
8~12 岁组	15.2	10.1	89.9
20~50 岁男子组	27.1	7.7	92.3
20~50 岁女子组	30.1	4.0	96.0

表 8.44 北方两省钴摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	9.3	0	9.3
	秋季	14.8	2.3	12.4
陕西省	春季	1.3	0.2	1.0
	秋季	40.8	0.7	40.1
平均值	春季	5.3	0.1	5.2
	秋季	27.8	1.5	26.2

由表 8.43 可见,钴摄入量以成年女子最多,其次是成年男子组,8~12 岁组最少,主要来自食品,来自饮水较少。由表 8.44 可见,秋季摄入量较春季为多。

14. 镍,原子序数 28

(1)卫生学意义 镍在人体内形成含镍金属蛋白,在 RNA 中含量高,在血浆中与 α_2 球蛋白结合,可活化某些酶^[16],包含在激活酶、激素作用、生物大分子的结构稳定性和一般新陈代谢过程之中,也属于营养必需元素。镍中毒引起皮炎、呼吸紊乱和呼吸系统的癌症,四羰基镍极毒,被确认为致癌物质^[14]。

(2)我国参考人镍的摄入量及食物来源 1992 年总膳食研究测定了各类食品中镍含量并估算了摄入量,其结果列于表 8.45^[4]。

表 8.45 镍摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
谷 类	摄入量	69.3	422.7	252.9	130.4	218.8
	总量%	39.6	82.1	50.0	34.5	55.6
豆 类	摄入量	15.4	3.0	45.0	37.4	25.2
	总量%	8.8	0.6	8.9	9.9	6.1
薯 类	摄入量	10.0	18.1	3.6	51.7	20.9
	总量%	5.7	3.5	0.7	13.7	5.3
肉 类	摄入量	0.3	3.9	15.0	29.0	12.0
	总量%	0.2	0.8	3.0	7.7	3.1
蛋 类	摄入量	0.4	1.6	5.3	15.7	5.7
	总量%	0.2	0.3	1.0	4.1	1.4
水 产 类	摄入量	4.6	0.7	33.1	7.7	11.5
	总量%	2.6	0.1	6.5	2.0	2.9
乳 类	摄入量	0.1	0.3	0.5	0.3	0.3
	总量%	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
蔬 菜 类	摄入量	60.5	41.0	147.1	100.5	87.3
	总量%	34.6	8.0	29.1	26.5	22.2
水 果 类	摄入量	12.3	22.6	0.4	0.1	8.9
	总量%	7.0	4.4	0.1	0.0	2.2
糖 类	摄入量	0.0	0.1	0.3	0.0	0.1
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
饮料及水	摄入量	1.8	0.5	2.6	5.5	2.6
	总量%	1.0	0.1	0.5	1.4	0.6
酒 类	摄入量	0.3	0.0	0.1	0.1	0.1
	总量%	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
总摄入量		175.0	514.5	505.9	378.4	393.5

由表 8.45 可见,我国参考人日摄入量为 $393.5\mu\text{g}$,相当接近 ICRP 参考人推荐值 ($400\mu\text{g}$)^[15],说明与西方膳食摄入量大体一致。目前尚未对镍制定摄入量推荐值。镍的食物来源主要是谷类和蔬菜类。各地区摄入量比较表明,北方二区和南方一区最高,而北方一区最低。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季节摄入量比较,结果示于表 8.46 和表 8.47^[4]。

表 8.46 镍摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的性别年龄组差异

组 别	摄入量	饮水, %	其它食品, %
2~7 岁组	385.4	0.3	99.6
8~12 岁组	413.9	0.3	99.7
20~50 岁男子组	699.8	0.7	99.3
20~50 岁女子组	462.0	2.8	97.2

表 8.47 北方两省镍摄入量(μg/d)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	174.7	1.0	173.8
	秋季	161.2	7.8	153.3
陕西省	春季	792.0	6.4	785.7
	秋季	970.0	9.3	960.7
平均值	春季	483.4	3.7	479.8
	秋季	565.6	8.6	557.0

由表 8.46 可见,镍摄入量以成年男子最高,其次是成年女子组和 8~12 岁组,2~7 岁组最少,主要来自食品,来自饮水较少。由表 8.47 可见,河北省春、秋两季摄入量相近,而陕西省则秋季摄入量大于春季。

15. 铜,原子序数 29

(1)卫生学意义 铜是血浆铜蓝蛋白、细胞色素氧化酶、胺氧化酶等多种酶的组成部分,是氧化还原体系一个极有效的催化剂^[16]。有 30 种以上的蛋白和酶中含有铜,含铜酶的重要特点是能直接利用分子态氧,需要铜制造红细胞和血红蛋白^[14]。铜在弹性纤维合成及中枢神经系统功能上还有其特殊的作用。人类铜缺乏相对较少。

(2)我国参考人铜的摄入量和食物来源 两次总膳食研究都测定了各类食品中铜含量并估算了摄入量,现将 1992 年调查结果列于表 8.48^[4]。

表 8.48 铜摄入量(mg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
谷 类	摄入量	1.09	1.63	1.65	0.69	1.27
	总量%	64.1	48.2	83.0	57.5	61.2
豆 类	摄入量	0.17	0.29	0.12	0.16	0.18
	总量%	9.9	8.5	6.0	13.0	8.8
薯 类	摄入量	0.11	0.36	0.01	0.16	0.16
	总量%	6.2	10.5	0.6	13.0	7.6
肉 类	摄入量	0.02	0.04	0.04	0.05	0.04
	总量%	1.2	1.1	1.8	4.6	1.8
蛋 类	摄入量	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
	总量%	1.0	0.5	0.6	1.8	0.8
水 产 类	摄入量	0.05	0.01	0.04	0.01	0.03
	总量%	2.9	0.2	2.1	0.8	1.3
乳 类	摄入量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	总量%	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
蔬 菜 类	摄入量	0.11	0.23	0.11	0.11	0.14
	总量%	6.4	6.9	5.6	9.1	6.8
水 果 类	摄入量	0.14	0.81	0.00	0.00	0.24
	总量%	8.0	24.1	0.2	0.1	11.5
糖 类	摄入量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
饮料及水	摄入量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
酒 类	摄入量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(续表)

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平 均
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
总 摄 入 量		1.70	3.37	1.99	1.19	2.07
占 ESADDI ¹⁾ %		85.0	168.5	99.5	59.5	103.5

1)ESADDI 为 2~3mg,此处按下限计算。

由表 8.48 可见,我国参考人日摄入量为 2.07mg,在 ESADDI 范围之内。摄入量主要来源是谷类,其次是豆类和薯类。我国摄入量低于 ICRP 参考人推荐值(3.5mg)^[15]。各地区摄入量比较表明,北方二区最高,南方二区最低。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季节摄入量比较,结果列于表 8.49 和表 8.50^[4]。

表 8.49 铜摄入量(mg/d)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	ESADDI ¹⁾ ,%	饮水,%	其它食品,%
2~7 岁组	16.5	1.16	77	0.9	99.1
8~12 岁组	29.4	1.23	62	1.6	98.4
20~50 岁男子组	63	2.13	106	0.9	99.1
20~50 岁女子组	53	1.95	98	1.0	99.0

1)按 ESADDI 相应值的下限计算。

表 8.50 北方两省铜摄入量(mg/d)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	2.18	0.0	2.18
	秋季	2.57	0.0	2.57
陕西省	春季	2.31	0.0	2.31
	秋季	2.29	0.0	2.29
平均值	春季	2.24	0.0	2.24
	秋季	2.43	0.0	2.43

由表 8.49 可见,成年组铜摄入量已达 ESADDI 的下限,而两个儿童组则偏低,几乎全部来自食品,来自饮水极少。由表 8.50 可见,两省春、秋两季摄入量相近。

16. 锌,原子序数 30

(1)卫生学意义 锌是许多金属酶的组成成分。可促进生长和性成熟,与蛋白质、DNA、RNA 合成有密切关系,还参与胰岛素合成^[16]。锌还与激素和卟啉有关。缺锌可使骨骼生长迟缓、肝脾肿大、性腺功能减退;过量引起不适、头晕、呕吐和腹泻^[14]。锌缺乏病主要致病因素之一是构成当地膳食的主体是谷类,且其中可利用的锌少,肉类消费少。膳食中锌的最好来源是肉类、海产品和家禽。谷类加工过细会使锌的损失增多,而酵母对小麦食物发酵可明显提高锌的生物可用性^[19]。

(2)我国参考人锌的摄入量和食物来源 两次总膳食研究都测定了各类食品中锌含量并估算了摄入量,现将 1992 年结果列于表 8.51^[4]。

表 8.51 锌摄入量(mg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	5.1	7.1	9.9	3.8	6.5
	总量%	57.1	59.5	75.4	50.0	62.2
豆 类	摄入量	0.7	0.8	0.5	0.7	0.7
	总量%	7.9	7.0	3.7	9.2	6.5
薯 类	摄入量	0.3	0.5	0.0	0.3	0.3
	总量%	3.2	4.1	0.3	3.9	2.6
肉 类	摄入量	0.6	1.6	0.9	1.2	1.1
	总量%	7.0	13.5	6.7	15.8	10.3
蛋 类	摄入量	0.4	0.2	0.2	0.4	0.3
	总量%	4.1	1.8	1.4	5.3	2.9
水产类	摄入量	0.6	0.1	0.4	0.2	0.3
	总量%	6.2	0.6	3.0	2.6	3.1
乳 类	摄入量	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
	总量%	0.9	0.8	0.3	0.2	0.5
蔬菜类	摄入量	1.1	0.9	1.2	0.9	1.0
	总量%	12.2	7.4	9.1	11.8	9.8
水果类	摄入量	0.1	0.6	0.0	0.0	0.2
	总量%	1.3	5.2	0.0	0.0	1.7
糖 类	摄入量	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
饮料及水	摄入量	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
	总量%	0.1	0.0	0.0	1.3	0.2
酒 类	摄入量	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	总量%	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
总摄入量		8.9	11.9	13.2	7.6	10.4
占 RDA ¹⁾ %		59.3	79.3	88.0	50.7	69.3

1)RDA 为 15mg。

由表 8.51 可见,我国参考人日摄入量为 10.4mg,相当于 RDA 的 69.3%,可见偏低。摄入量的主要食物来源是谷类和肉类。这些结果与 1990 年调查结果(9.8mg)非常一致,只是谷类和肉类贡献有所提高而蔬菜类的贡献有所下降。我国参考人日摄入量稍低于 ICRP 参考人推荐值(13mg),可能与我国动物性食物消费量比西方少有关。各地区摄入量比较表明,南方一区最高,北方二区次之,南方二区最低。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季节摄入量比较,结果列于表 8.52 和表 8.53^[4]。

由表 8.52 可见,4 个性别年龄组锌摄入都偏低,摄入量绝大部分来自食品,而不是饮水。缺锌也是我国膳食的不足,谷类加工不宜太精,适当增加肉类消费量等应该是有意义的措施。由表 8.53 可见,河北省春秋季节锌摄入量相差不大,而陕西省以秋季较高。

表 8.52 锌摄入量(mg/d)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	RDA,%	饮水,%	其它食品,%
2~7 岁组	16.5	6.4	64	3.1	96.9
8~12 岁组	29.4	7.1	55	1.4	98.6
20~50 岁男子组	63	9.9	66	2.0	98.0
20~50 岁女子组	53	8.7	58	1.1	98.8

表 8.53 北方两省锌摄入量(mg/d)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	10.3	0.0	10.3
	秋季	9.8	0.1	9.6
陕西省	春季	7.2	0.0	7.1
	秋季	9.6	0.1	9.5
平均值	春季	8.7	0.0	8.7
	秋季	9.7	0.1	9.6

17. 硒,原子序数 34

(1)卫生学意义 硒是谷胱甘肽过氧化物酶的主要成分,该酶可使过氧化物脱氧,对组织起保护作用。与维生素 E 有协同作用,都可抗氧化^[16]。缺硒引起“白肌病”;过量引起食欲减退、肝脏受损、毛发改变。中毒机理主要是硒抑制含巯基的酶^[14]。克山病与硒缺乏存在明显的关系。

(2)我国参考人硒的摄入量及食物来源 两次总膳食研究都测定了各类食品中硒含量并估算了摄入量,现将 1992 年结果列于表 8.54^[4]。

表 8.54 硒摄入量(μg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	25.2	26.4	28.4	18.4	24.6
	总量%	38.2	70.2	55.9	44.4	50.0
豆 类	摄入量	1.1	1.2	0.9	1.0	1.1
	总量%	1.7	3.2	1.8	2.4	2.2
薯 类	摄入量	1.8	0.7	0.0	0.6	0.8
	总量%	2.7	1.8	0.1	1.4	1.6
肉 类	摄入量	3.4	2.4	3.9	4.7	3.6
	总量%	5.2	6.4	7.7	11.4	7.3
蛋 类	摄入量	4.9	1.9	3.1	8.6	4.6
	总量%	7.4	5.0	6.1	20.8	9.3
水产类	摄入量	17.2	1.5	11.6	5.3	8.9
	总量%	26.1	4.0	22.8	12.8	18.1
乳 类	摄入量	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
	总量%	0.2	0.5	0.2	0.1	0.2
蔬菜类	摄入量	10.5	2.3	1.7	2.2	4.2
	总量%	15.9	6.1	3.3	5.3	8.5
水果类	摄入量	0.3	0.3	0.0	0.0	0.3
	总量%	0.4	0.8	0.0	0.0	0.6
糖 类	摄入量	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	总量%	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
饮料及水	摄入量	0.9	0.7	1.0	0.5	0.8
	总量%	1.4	1.9	2.0	1.2	1.6
酒 类	摄入量	0.6	0.1	0.1	0.1	0.2
	总量%	0.9	0.3	0.2	0.2	0.4
总摄入量		66.0	37.6	50.8	41.4	49.2
占 RDA ¹⁾ %		132.0	75.2	101.6	82.8	98.4

1)RDA 为 50μg/d。

由表 8.54 可见,我国参考人日摄入量为 49.2μg,相当于 RDA 的 98.4%,较为适宜。主要

食物来源是谷类和水产类。这些结果与 1990 年平均值($42.3\mu\text{g}$)及食物来源都较好的一致。我国摄入量远低于 ICRP 参考人推荐值($150\mu\text{g}$)^[15],这可能与我国动物性食物消费量比西方少有关。硒主要来自谷类和水产类,各地区摄入量比较表明,沿海两区摄入量比内地两区为高,主要来自水产类摄入的差别,以北方一区最高,而北方二区最低。所以,地区上看硒缺乏主要出现在内地的两个地区,这结果也与 1990 年调查结果一致。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季节摄入量比较,结果列于表 8.55,表 8.56^[4]。

表 8.55 硒摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	RDA, %	饮水, %	其它食品, %
2~7 岁组	16.5	26.5	76	2.6	97.0
8~12 岁组	29.4	30.1	60	3.0	96.7
20~50 岁男子组	63	45.0	90	3.1	96.9
20~50 岁女子组	53	43.4	87	2.5	97.5

表 8.56 北方两省硒摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	46.0	1.4	44.5
	秋季	71.5	1.8	69.7
陕西省	春季	15.1	0.7	14.5
	秋季	20.4	0.8	19.6
平均值	春季	30.6	1.0	29.5
	秋季	46.0	1.3	44.6

由表 8.55 可见,4 个性别年龄组中成年组缺乏不显著,可视为正常下限,而两个儿童组显示硒缺乏,尤以 8~12 岁组为突出。各年龄组都主要来自食品,而不是饮水。由表 8.56 可见,硒摄入量均是秋季高于春季。

18. 溴,原子序数 35

(1)卫生学意义 溴对人体影响的资料很少。

(2)我国参考人溴的摄入量和食物来源 1992 年总膳食研究测定了各类食品中溴含量并估算了摄入量,结果列于表 8.57^[4]。

表 8.57 溴摄入量(mg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	1.605	0.569	0.496	0.177	0.712
	总量 %	48.4	66.0	13.9	12.9	31.3
豆 类	摄入量	0.106	0.026	0.160	0.066	0.090
	总量 %	3.2	3.0	4.5	4.8	3.9
薯 类	摄入量	0.148	0.044	0.032	0.330	0.139
	总量 %	4.5	5.1	0.9	24.2	6.1
肉 类	摄入量	0.134	0.052	0.482	0.124	0.198
	总量 %	4.0	6.0	13.5	9.1	8.7
蛋 类	摄入量	0.134	0.024	0.142	0.119	0.105
	总量 %	4.0	2.8	4.0	8.7	4.6

(续表)						
种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
水产类	摄入量	0.368	0.014	0.476	0.046	0.226
	总量%	11.1	1.6	13.3	3.4	9.9
乳 类	摄入量	0.044	0.006	0.029	0.009	0.022
	总量%	1.3	0.6	0.8	0.7	1.0
蔬菜类	摄入量	0.729	0.093	1.724	0.489	0.759
	总量%	22.0	10.8	48.3	35.7	33.3
水果类	摄入量	0.023	0.003	0.002	0.000	0.007
	总量%	0.7	0.4	0.0	0.0	0.3
糖 类	摄入量	0.002	0.002	0.000	0.000	0.001
	总量%	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
饮料及水	摄入量	0.018	0.027	0.023	0.006	0.019
	总量%	0.6	3.2	0.6	0.5	0.8
酒 类	摄入量	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
总摄入量		3.312	0.863	3.568	1.368	2.277

由表 8.57 可见,我国参考人日摄入量为 2.28mg,比 ICRP 推荐值(7.5mg)低得多^[15]。食物来源主要是蔬菜类和谷类,水产类也有较大贡献。在我国沿海两区比内陆两区溴摄入量高,以南方一区最高,北方二区最低。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和陕西省春秋季节摄入量比较,性别年龄组比较结果列于表 8.58^[4]。

表 8.58 溴摄入量(mg/d)的性别年龄组差异

组别	摄入量	饮水,%	其它食品,%
2~7 岁组	1.757	2.4	97.5
8~12 岁组	1.216	4.5	95.5
20~50 岁男子组	3.033	2.6	97.4
20~50 岁女子组	2.227	1.8	98.2

由表 8.58 可见,溴摄入量绝大部分来自食品。陕西省比较表明,秋季摄入量大于春季。

19. 铷和⁸⁷Rb,原子序数 37

(1)卫生学意义 铷的生物学作用不明。因性质与钾相似,所以可能在新陈代谢过程中和钾发生交换,铷的积累会破坏细胞功能^[14]。⁸⁷Rb 是纯β辐射体,半衰期为 4.7×10¹⁰年。它在铷中的富集度为 27.83%,可随膳食进入人体,是天然本底内照射辐照的组成之一,通常是通过铷含量测定后按富集度计算其含量^[20]。

(2)我国参考人铷和⁸⁷Rb 的摄入量和食物来源 1992 年总膳食研究和 1982~1985 年全国食品放射性调查中都估算了食品中铷的摄入量^[4,20]。现将 1992 年估算结果列于表 8.59^[4]。

由表 8.59 可见,我国参考人铷日摄入量为 3.407mg,相当于⁸⁷Rb 3.06Bq,与 1982~1985 年全国平均⁸⁷Rb 摄入量(3.50Bq/d)基本一致^[20]。我国铷日摄入量比 ICRP 参考人推荐值(2.2mg)高^[15]。食物来源主要是谷类、蔬菜类和薯类。地区差异不大,以南方一区最高,而北方二区最低。

表 8.59 铷摄入量(mg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	1.514	0.894	2.293	1.112	1.453
	总量%	41.7	43.4	48.2	35.0	42.6
豆 类	摄入量	0.125	0.101	0.130	0.140	0.124
	总量%	3.4	4.9	2.7	4.4	3.6
薯 类	摄入量	0.200	0.379	0.057	0.810	0.362
	总量%	5.5	18.4	1.2	25.5	10.6
肉 类	摄入量	0.202	0.083	0.482	0.284	0.263
	总量%	5.6	4.0	10.1	8.9	7.7
蛋 类	摄入量	0.083	0.022	0.053	0.109	0.067
	总量%	2.3	1.0	1.1	3.4	2.0
水产类	摄入量	0.063	0.007	0.058	0.013	0.035
	总量%	1.7	0.3	1.2	0.4	1.0
乳 类	摄入量	0.028	0.016	0.063	0.026	0.033
	总量%	0.8	0.8	1.3	0.8	1.0
蔬菜类	摄入量	1.020	0.364	1.307	0.624	0.829
	总量%	28.1	17.7	27.5	19.6	24.3
水果类	摄入量	0.365	0.170	0.260	0.003	0.199
	总量%	10.1	8.2	5.4	0.1	5.8
糖 类	摄入量	0.005	0.003	0.001	0.000	0.002
	总量%	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1
饮料及水	摄入量	0.026	0.021	0.054	0.057	0.039
	总量%	0.7	1.0	1.1	1.8	1.2
酒 类	摄入量	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
总摄入量		3.632	2.059	4.758	3.180	3.407

(3)性别年龄组和季节性差异 1992年总膳食研究中,四省市典型调查开展了4个性别年龄组和陕西省春秋季节摄入量比较,性别年龄组比较结果列于表8.60^[4]。

表 8.60 铷摄入量(mg/d)的性别年龄组差异

组别	摄入量	饮水, %	其它食品, %
2~7岁组	1.627	0.1	99.9
8~12岁组	2.282	0.1	99.9
20~50岁男子组	2.958	2.1	97.9
20~50岁女子组	2.400	2.0	98.0

由表8.60可见,铷摄入量绝大部分来自食品,饮水贡献极少。陕西省比较表明,秋季摄入量大于春季。

20. 锶和⁹⁰Sr, 原子序数 38

(1)卫生学意义 锶主要沉积在骨骼,对骨骼和牙齿的钙化是不可缺少的,锶可参与钙代谢。有证据认为含量低时会产生龋齿^[14]。⁹⁰Sr是锶的最重要的人工放射性核素,也是重要的裂变产物,半衰期为28.6年,发射 β 粒子。

(2)我国参考人锶和⁹⁰Sr的摄入量及食物来源 1990年总膳食研究和1982~1985年全国食品放射性调查^[20]都测定了食品中锶和⁹⁰Sr含量并估算了摄入量,现将1990年总膳食研究的估算结果列于表8.61和表8.62^[3,4]。

表 8.61 镉摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	379.3	339.3	562.6	271.8	388.2
	总量%	43.6	39.9	59.2	41.6	46.7
豆 类	摄入量	30.1	21.1	1.1	27.2	19.9
	总量%	3.4	2.5	0.1	4.2	2.4
薯 类	摄入量	32.4	35.3	0.3	42.2	27.6
	总量%	3.7	4.2	0.0	6.5	3.3
肉 类	摄入量	9.5	8.9	22.0	15.5	14.0
	总量%	1.1	1.0	2.3	2.4	1.7
蛋 类	摄入量	10.2	5.8	7.0	8.7	7.9
	总量%	1.2	0.7	0.7	1.3	1.0
水产类	摄入量	51.2	2.2	21.4	10.4	21.3
	总量%	5.9	0.2	2.2	1.6	2.6
乳 类	摄入量	4.9	3.2	1.5	0.5	2.5
	总量%	0.6	0.4	0.2	0.1	0.3
蔬菜类	摄入量	215.7	231.3	229.4	226.4	225.7
	总量%	24.8	27.2	24.2	24.7	27.2
水果类	摄入量	37.4	69.8	1.7	0.4	27.3
	总量%	4.3	8.2	0.2	0.1	3.3
糖 类	摄入量	0.5	1.3	1.0	0.3	0.8
	总量%	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1
饮料及水	摄入量	97.6	130.9	100.5	48.4	94.4
	总量%	11.2	15.4	10.6	7.4	11.4
酒 类	摄入量	1.4	0.4	1.1	0.7	0.9
	总量%	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1
总摄入量		870.2	849.5	949.6	652.6	830.5

表 8.62 ^{90}Sr 摄入量(Bq/a)的膳食来源¹⁾

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	13.42	15.16	95.56	21.45	36.39
	总量%	28.49	45.40	60.83	16.23	39.37
豆 类	摄入量	2.72	2.32	10.42	4.06	4.88
	总量%	5.77	6.95	6.63	3.07	5.28
薯 类	摄入量	3.34	2.86	1.49	34.13	10.46
	总量%	7.08	8.57	0.95	25.82	11.31
肉 类	摄入量	2.31	0.34	1.29	3.48	1.86
	总量%	4.91	1.03	0.82	2.63	2.01
蛋 类	摄入量	0	0	0.62	2.63	0.81
	总量%	0	0	0.39	1.99	0.88
水产类	摄入量	2.71	0.03	9.09	2.72	3.64
	总量%	5.76	0.10	5.79	2.05	3.94
乳 类	摄入量	0.18	0.19	0	0	0.09
	总量%	0.38	0.56	0	0	0.10
蔬菜类	摄入量	18.26	11.80	34.62	63.64	32.17
	总量%	39.52	35.35	22.04	48.14	34.80
水果类	摄入量	3.80	0.62	0.14	0.03	1.15
	总量%	8.08	1.87	0.09	0.02	1.24
糖 类	摄入量	0	0.05	0.01	0.02	0.02
	总量%					

(续表)

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
饮 料 及 水	总量%	0	0.15	0.05	0.01	0.02
	摄入量	0	0	3.79	0	0.95
酒 类	总量%	0	0	2.41	0	1.02
	摄入量	0	0.01	0.05	0.04	0.03
	总量%	0	0.03	0.03	0.08	0.03
总摄入量		47.1	33.4	157.1	132.2	92.4
占 ALI ²⁾ %		0.2	0.1	0.6	0.5	0.3

注:1)本表引自 1990 年中国总膳食研究工作总结。

2)ALI 为 $2.8 \times 10^4 \text{Bq}$ (GB14882-94)。

由表 8.61 可见,我国参考人锶日摄入量为 $830.5 \mu\text{g}$,比 ICRP 参考人推荐值 (1.9mg) 低得多^[15]。食物来源主要是谷类、蔬菜类和饮料及水。在我国以南方一区摄入量最高,而南方二区最低。由表 8.62 可见,我国参考人 1990 年 ^{90}Sr 的摄入量为 92.4Bq/a ,占 ALI 的 0.3% 。其食物来源为谷类、蔬菜类和薯类,饮料及水的贡献 (1.02%) 比锶小得多,说明主要来自地表土壤中已沉降 ^{90}Sr 的残留,而新近沉降极少。从地区差异来看, ^{90}Sr 摄入量南方两区比北方两区高得多,明显不同于锶,这可能与过去地表沉降和南方灌溉充分有关。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季节摄入量比较,结果列于表 8.63 和表 8.64。

表 8.63 锶与 ^{90}Sr 摄入量 ($\text{Sr } \mu\text{g/d}$ 和 $^{90}\text{Sr } \text{Bq/a}$) 的性别年龄组差异

组 别	项 目	摄入量	占 ALI, %	饮水, %	其它食品, %
2~7 岁组	Sr	779	—	8.1	91.9
	^{90}Sr	36.2	0.2	19.9	80.2
8~12 岁组	Sr	901	—	9.1	90.9
	^{90}Sr	65.8	0.4	10.6	89.3
20~50 岁男子组	Sr	1233	—	10.3	89.7
	^{90}Sr	70.6	0.2	13.3	86.6
20~50 岁女子组	Sr	789	—	14.2	85.5
	^{90}Sr	79.0	0.2	12.9	87.1

表 8.64 锶与 ^{90}Sr 摄入量 ($\text{Sr } \mu\text{g/d}$ 和 $^{90}\text{Sr } \text{Bq/a}$) 季节差异

		项 目	摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	Sr	3214	308	2905
		^{90}Sr	22.42	2.77	19.65
	秋季	Sr	734	95	639
		^{90}Sr	25.87	3.16	22.71
陕西省	春季	Sr	157	114	343
		^{90}Sr	9.67	2.38	7.29
	秋季	Sr	879	132	747
		^{90}Sr	10.77	1.56	9.21
平均值	春季	Sr	1836	211	1624
		^{90}Sr	16.04	2.58	13.47
	秋季	Sr	806	114	693
		^{90}Sr	18.32	2.36	15.96

由表 8.63 可见,4 个性别年龄组的⁹⁰Sr 摄入量仅占 ALI 的 0.2%~0.4%,是很安全的。这说明随着国内外核武器试验的减少和停止,⁹⁰Sr 对公众健康的威胁已大大下降,不必成为监测重点。锶和⁹⁰Sr 的摄入主要来自食物,但来自饮水的贡献比起其它元素来说相对较大。

由表 8.64 可见,这两省之间或锶和⁹⁰Sr 之间季节组差异呈现较复杂的情况,其影响因素较多,但与表 8.63 同样显示出饮水对总摄入量贡献比起其它元素来说相对大些。

21. 钼,原子序数 42

(1)卫生学意义 钼是几种酶的主要成分,如:黄嘌呤氧化酶、醛氧化酶与亚硫酸氧化酶等^[16],包含在与染色体有关的金属酶中,对铜代谢影响极大,钼滞留在骨骼软组织中,可能与癌症有关^[14]。已知钼的毒性主要是与其它人体必需元素产生拮抗作用,例如铜。

(2)我国参考人钼的摄入量和食物来源 1992 年总膳食研究测定了各类食品中钼含量并估算了摄入量,其结果列于表 8.65^[4]。

表 8.65 钼摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	79.3	234.7	167.8	193.6	168.8
	总量%	43.9	79.6	83.5	82.4	74.1
豆 类	摄入量	5.8	3.6	6.2	5.1	5.2
	总量%	3.2	1.2	3.1	2.2	2.3
薯 类	摄入量	10.6	18.8	0.3	14.0	11.0
	总量%	5.9	6.4	0.2	6.0	4.8
肉 类	摄入量	1.4	2.3	1.6	3.8	2.3
	总量%	0.7	0.8	0.8	1.6	1.0
蛋 类	摄入量	2.2	1.6	0.4	0.8	1.2
	总量%	1.2	0.5	0.2	0.3	0.5
水产类	摄入量	4.0	0.3	2.3	0.3	1.7
	总量%	2.2	0.1	1.1	0.1	0.7
乳 类	摄入量	0.3	0.4	0.1	0.0	0.2
	总量%	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1
蔬菜类	摄入量	50.5	31.7	20.8	16.4	29.9
	总量%	27.9	10.8	10.4	7.0	13.1
水果类	摄入量	2.5	1.2	0.0	0.0	0.9
	总量%	1.4	0.4	0.0	0.0	0.4
糖 类	摄入量	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
饮料及水	摄入量	24.1	0	1.2	0.8	6.5
	总量%	13.3	0.0	0.6	0.3	2.9
酒 类	摄入量	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
总摄入量		180.8	294.7	200.9	234.9	227.8
占 ESADDI ¹⁾ %		120.5	196.5	133.9	156.6	151.9

1)ESADDI 为 0.15~0.5mg,此处按下限计算。

由表 8.65 可见,我国参考人日摄入量为 227.8 μg ,在 ESADDI 范围以内,应该是适宜的。其主要食物来源是谷类和蔬菜类。我国摄入量稍低于 ICRP 参考人推荐值(300 μg)^[15]。各地区摄入量比较表明,与前面讨论的硒相反,位于内地的两区显示出比沿海两区的钼摄入量高(尤其是谷类),以北方二区最高,而北方一区最低。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季节摄入量比较,结果列于表 8.66 和表 8.67^[4]。

表 8.66 钼摄入量(μg/d)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	占 ESADDI ¹⁾ ,%	饮水,%	其它食品,%
2~7 岁组	16.5	121.4	162	0.3	99.7
8~12 岁组	29.4	153.3	123	0.6	99.4
20~50 岁男子组	63	274.5	183	0.4	99.6
20~50 岁女子组	53	198.0	132	0.4	99.6

1)按 ESADDI 相应值的下限计算。

表 8.67 北方两省钼摄入量(μg/d)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	291.2	0.0	291.2
	秋季	362.5	3.1	359.4
陕西省	春季	56.8	0.4	56.4
	秋季	125.2	0.2	125.0
平均值	春季	174.0	0.2	173.8
	秋季	243.8	1.6	242.2

由表 8.66 可见,4 个性别年龄组的摄入量都在推荐的 ESADDI 范围内,均属适宜,摄入量绝大部分来自食品而不是饮水。由表 8.67 表明,两省秋季摄入量明显高于春季。

22. 银,原子序数 47

(1)卫生学意义 非必需金属,银盐在体内吸收很差,Ag⁺以 Ag₂S 形式渗入到组织中,引起溶血作用^[14]。

(2)我国参考人银的摄入量和食物来源 1992 年总膳食研究测定了各类食品中含量并估算了摄入量,其结果列于表 8.68^[4]。

表 8.68 银摄入量(μg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	1.73	16.26	31.91	11.67	15.39
	总量%	13.6	45.9	53.9	33.9	43.4
豆 类	摄入量	0.10	0.12	2.09	1.93	1.06
	总量%	0.8	0.3	3.5	5.6	3.0
薯 类	摄入量	0.26	0.79	0.42	4.60	1.52
	总量%	2.0	2.2	0.7	13.4	4.3
肉 类	摄入量	0.06	1.41	3.31	2.58	1.84
	总量%	0.5	4.0	5.6	7.5	5.2
蛋 类	摄入量	0.04	0.74	0.78	1.38	0.74
	总量%	0.3	2.1	1.3	4.0	2.1
水产类	摄入量	0.18	0.18	3.39	0.37	1.03
	总量%	1.4	0.5	5.7	1.1	2.9
乳 类	摄入量	0.01	0.06	0.10	0.03	0.05
	总量%	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1
蔬菜类	摄入量	9.66	14.92	17.02	10.72	13.08
	总量%	76.0	42.1	28.8	31.2	36.9

(续表)

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
水果类	摄入量	0.32	0.75	0.06	0.02	0.29
	总量%	2.5	2.1	0.1	0.0	0.8
糖 类	摄入量	0.00	0.05	0.09	0.03	0.04
	总量%	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1
饮料及水	摄入量	0.34	0.12	0	1.04	0.38
	总量%	2.7	0.3	0.0	3.0	1.1
酒 类	摄入量	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02
	总量%	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
总摄入量		12.7	35.4	59.2	34.4	35.4

由表 8.68 可见,我国参考人日摄入量为 35.4 μg ,比 ICRP 参考人推荐值(70 μg)小得多^[15]。食物来源主要是谷类和蔬菜类。在我国南方一区摄入量最高,而北方一区最低。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季节摄入量比较,结果列于表 8.69 和表 8.70^[5]。

表 8.69 银摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的性别年龄组差异

组别	摄入量	饮水, %	其它食品, %
2~7 岁组	14.5	1.1	98.9
8~12 岁组	11.4	2.0	98.0
20~50 岁男子组	22.1	1.5	98.5
20~50 岁女子组	44.5	0.7	99.3

表 8.70 银摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	10.2	0.2	10.0
	秋季	2.2	0.3	1.9
陕西省	春季	50.3	0.1	50.2
	秋季	66.3	0.5	65.8
平均值	春季	30.2	0.2	30.1
	秋季	34.3	0.4	33.9

由表 8.69 和表 8.70 可见,银摄入量绝大部分来自食物,饮水贡献极少,陕西省银摄入量秋季大于春季,而河北省则秋季明显低于春季。

23. 镉,原子序数 48

(1)卫生学意义 镉金属本身无毒,但蒸气有毒,化合物中以氧化物毒性最大。土壤受工业污染(包括废气扩散沉降和废水灌溉农田)对居民产生危害。日本的痛痛病就是由于上游锌矿冶炼排出含镉废水污染了神通川灌溉农田,居民长期食用含镉米和饮用含镉水所致,日本镉污染农田占重金属污染总面积的 82%。我国也出现“镉米”地区,对人体健康已构成重大威胁^[21]。镉与含巯基蛋白质分子结合,减低或抑制许多酶的活性,抑制生长,并降低蛋白质和脂肪消化,引起高血压和心血管疾病^[14]。

(2)我国参考人镉的摄入量和食物来源 两次总膳食研究都测定了各类食品中镉含量并估算了摄入量,现将 1992 年的估算结果列于表 8.71^[4]。

表 8.71 镉摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	4.7	18.7	13.0	7.4	11.0
	总量%	39.2	72.4	58.3	42.5	56.5
豆 类	摄入量	0.4	1.9	0.4	0.4	0.8
	总量%	3.4	7.3	2.0	2.2	4.0
薯 类	摄入量	0.9	0.8	0.1	0.6	0.6
	总量%	7.4	3.2	0.4	3.5	3.1
肉 类	摄入量	0.7	0.1	0.2	0.4	0.4
	总量%	6.2	0.5	0.9	2.3	1.9
蛋 类	摄入量	0.1	0.0	0.3	0.4	0.2
	总量%	0.5	0.1	1.4	2.2	1.0
水产类	摄入量	0.7	0.1	2.3	0.7	0.9
	总量%	5.8	0.4	10.2	4.0	4.9
乳 类	摄入量	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	总量%	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
蔬菜类	摄入量	4.2	3.8	6.0	7.5	5.4
	总量%	35.0	14.8	26.8	43.2	27.8
水果类	摄入量	0.3	0.3	0.0	0.0	0.2
	总量%	2.5	1.2	0.0	0.1	0.8
糖 类	摄入量	0	0.0	0	0	0
	总量%	0	0.0	0	0	0
饮料及水	摄入量	0	0	0	0	0
	总量%	0	0	0	0	0
酒 类	摄入量	0.0	0.0	0.0	0	0
	总量%	0.1	0.0	0.0	0	0
总摄入量		12.1	25.8	22.3	17.4	19.4
占 ADI ¹⁾ %		20.2	43.0	37.2	29.0	32.3

1)ADI 值为 $60\mu\text{g}/\text{d}$ 。

由表 8.71 可见,我国参考人日摄入量为 $19.4\mu\text{g}$,相当于 WHO 推荐 ADI 的 32.3%,比 1990 年的估算结果($13.8\mu\text{g}$)为高,应该重视。其食物来源主要是谷类、蔬菜类,与 1990 年结果一致。我国摄入量远低于 ICRP 参考人推荐值($150\mu\text{g}$),也说明我国膳食镉污染比西方膳食为少。各地区摄入量比较表明,与铅情况相似,北方二区和南方一区摄入量高于其它两地区。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春、秋季摄入量比较,结果列于表 8.72 和表 8.73^[6]。

由表 8.72 和表 8.73 可见,4 个性别年龄组中以成年男子组占 ADI 百分数最大,其它三组相近。镉摄入量绝大部分来自食物,饮水贡献极少。在这两省摄入量均是秋季大于春季。

表 8.72 镉摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	RDA,%	饮水,%	其它食品,%
2~7 岁组	16.5	2.3	14	0	100
8~12 岁组	29.4	4.5	15	2.2	97.8
20~50 岁男子组	63	12.5	21	0.8	99.2
20~50 岁女子组	53	6.5	12	1.5	98.5

表 8.73 北方两省碘摄入量(μg/d)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	12.1	0.0	12.1
	秋季	14.0	0.2	13.8
陕西省	春季	7.3	0.0	7.3
	秋季	11.4	0.0	11.4
平均值	春季	10.6	0.0	10.6
	秋季	12.7	0.1	12.6

24. 碘,原子序数 53

(1)卫生学意义 碘是甲状腺激素的重要成分,甲状腺主要功能是促进基础代谢、蛋白质合成与糖的吸收,增加糖原分解和异生作用^[16]。健康成人体内总共含 15~20mg 碘,其 70%~80%存在于甲状腺。膳食中碘含量不仅通过当地食物受水和土壤影响,还受食物烹调加工方法影响。有的地区在烘焙谷类食物时加入碘化物作为稳定剂,有的地区食用加碘食盐。地方性甲状腺肿的一个重要病因是碘的不足。在普通膳食中较难达到潜在性有害水平^[19]。

(2)我国参考人碘的摄入量和食物来源 1992 年总膳食研究测定了各类食品中碘含量并估算了摄入量,其结果列于表 8.73^[4]。

表 8.74 碘摄入量(μg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	138.6	67.1	28.4	71.4	76.4
	总量%	48.0	36.3	8.2	51.2	31.9
豆 类	摄入量	3.2	7.7	3.0	5.0	4.7
	总量%	1.1	4.2	0.9	3.6	2.0
薯 类	摄入量	7.8	35.1	1.3	9.7	13.5
	总量%	2.7	19.0	0.4	6.9	5.6
肉 类	摄入量	10.7	9.6	2.5	12.0	8.7
	总量%	3.7	5.2	0.7	8.6	3.6
蛋 类	摄入量	8.5	7.9	4.9	5.8	6.8
	总量%	2.9	4.3	1.4	4.2	2.8
水产类	摄入量	61.4	1.4	11.5	5.3	19.9
	总量%	21.3	0.8	3.3	3.8	8.3
乳 类	摄入量	1.1	0.3	0.9	0.2	0.6
	总量%	0.4	0.1	0.2	0.2	0.2
蔬菜类	摄入量	52.5	43.4	283.6	26.3	101.4
	总量%	18.2	23.5	82.4	18.9	42.4
水果类	摄入量	2.1	0.9	0.0	0.0	0.8
	总量%	0.7	0.5	0.0	0.0	0.3
糖 类	摄入量	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
饮料及水	摄入量	2.6	11.0	8.2	3.5	6.3
	总量%	0.9	6.0	2.4	2.5	2.6
酒 类	摄入量	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
总摄入量		288.4	184.5	344.4	139.3	239.1
占 RDA ¹⁾ %		192.3	123.0	229.6	92.9	159.4

1)RDA 为 150μg。

由表 8.74 可见,我国参考人日摄入量为 239.1 μg ,已达到 RDA,应该是适宜的。其主要食物来源是蔬菜类和谷类。我国摄入量稍高于 ICRP 参考人推荐值(200 μg)^[15]。各地区摄入量比较表明,沿海两区摄入量明显高于内地两区,最高是南方一区,而最低是南方二区。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和陕西省春秋季节摄入量比较,结果示于表 8.75^[4]。

表 8.75 碘摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	RDA, %	饮水, %	其它食品, %
2~7 岁组	16.5	83.2	106	5.6	93.3
8~12 岁组	29.4	88.2	74	6.9	93.1
20~50 岁男子组	63	121.8	81	7.5	92.5
20~50 岁女子组	53	92.2	62	6.7	93.3

由表 8.75 可见,除幼儿组外其它组均显示摄入量不足。其摄入量主要来自食品,饮水只提供很小部分。陕西省摄入量秋季明显高于春季。

25. 铯和¹³⁷Cs,原子序数 55

(1)卫生学意义 铯的生理作用不明,但¹³⁷Cs 是最重要的人工裂变产物之一,半衰期为 30.17 年,为 β 和 γ 辐射核素。呈全身分布,会对全身广泛辐照。

(2)我国参考人铯和¹³⁷Cs 摄入量和食物来源 1990 年总膳食研究和 1982~1985 年全国食品放射性调查^[20]都测定过食品中¹³⁷Cs 含量,并估算了摄入量,现将 1990 年调查估算出的铯和¹³⁷Cs 摄入量分别列于表 8.76 和表 8.77^[3,4]。

表 8.76 铯摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	15.86	11.18	16.55	12.35	13.98
	总量%	38.2	46.2	37.2	31.6	37.5
豆 类	摄入量	1.18	1.77	1.43	3.51	1.97
	总量%	2.8	7.3	3.2	9.0	5.3
薯 类	摄入量	2.24	4.93	0.55	10.13	4.46
	总量%	5.4	20.4	1.2	25.9	12.0
肉 类	摄入量	11.51	1.21	6.40	6.49	6.40
	总量%	27.7	5.0	14.4	16.6	17.2
蛋 类	摄入量	0.34	0.15	0.50	0.74	0.43
	总量%	0.8	0.6	1.1	1.9	1.2
水产类	摄入量	1.23	0.11	1.84	0.22	0.85
	总量%	3.0	0.4	4.1	0.6	2.3
乳 类	摄入量	0.16	0.11	0.42	0.13	0.20
	总量%	0.4	0.4	0.9	0.3	0.5
蔬菜类	摄入量	6.19	2.75	16.40	4.89	7.56
	总量%	14.9	11.4	36.9	12.5	20.3
水果类	摄入量	2.42	1.24	0.20	0.02	0.97
	总量%	5.8	5.1	0.4	0.0	2.6
糖 类	摄入量	0.16	0.25	0.02	0.01	0.11
	总量%	0.4	1.0	0.0	0.0	0.3

(续表)

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
饮料及水	摄入量	0.26	0.49	0.11	0.60	0.36
	总量%	0.6	2.0	0.2	1.5	1.0
酒 类	摄入量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
总摄入量		41.55	24.19	44.42	39.09	37.29

表 8.77 ^{137}Cs 摄入量(Bq/a)的膳食来源¹⁾

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	1.60	0	16.93	0	4.63
	总量%	28.69	0	39.09	0	20.63
豆 类	摄入量	0.63	0.34	1.82	1.86	1.16
	总量%	11.29	2.98	4.21	6.28	5.13
薯 类	摄入量	0.60	0.64	0.58	8.32	2.53
	总量%	10.18	5.64	1.33	28.13	11.15
肉 类	摄入量	1.00	0	3.17	5.37	2.38
	总量%	17.84	0	7.33	18.16	10.61
蛋 类	摄入量	0.16	0.13	0.75	0.39	0.36
	总量%	2.92	1.13	1.73	1.33	1.60
水产类	摄入量	1.07	0	2.26	0.76	1.02
	总量%	19.22	0	5.21	2.57	4.55
乳 类	摄入量	0.02	0.04	0.03	0	0.02
	总量%	0.38	0.35	0.07	0	0.10
蔬菜类	摄入量	0	9.86	9.69	7.86	6.85
	总量%	0	86.48	22.37	26.61	30.52
水果类	摄入量	0.51	0.36	0.09	0.00	0.24
	总量%	9.08	3.13	0.21	0.00	1.06
糖 类	摄入量	0.02	0.03	0.00	0	0.01
	总量%	0.39	0.27	0.00	0	0.06
饮料及水	摄入量	0	0	7.84	4.93	3.19
	总量%	0	0	18.09	16.68	14.21
酒 类	摄入量	0	0.00	0.14	0.07	0.05
	总量%	0	0.05	0.31	0.22	0.23
总摄入量		5.6	11.4	43.3	29.5	22.5
占 ALI ²⁾ %		0.01	0.01	0.06	0.04	0.03

注:1)本表引自 1990 年中国总膳食研究工作总结。

2)ALI 为 $7.7 \times 10^4 \text{Bq}$ 。

由表 8.76 可见,我国参考人铯日摄入量为 $37.29\mu\text{g}$,比 ICRP 参考人推荐值($10\mu\text{g}$)高得多^[15]。食物来源主要是谷类、蔬菜类、肉类和薯类。我国以南方一区摄入量最高,而北方二区最低。由表 8.77 可见,我国参考人 ^{137}Cs 摄入量为 22.5Bq/a ,占 ALI 的 0.03%,其主要食物来源为蔬菜类、谷类、饮料及水、薯类和肉类。饮料及水的贡献比铯大得多,这可能是因为过去沉降于土壤的残留物溶解进入地面水,又不能被水加工净化工艺所除去。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季节摄入量比较,结果见表 8.78 和表 8.79^[4]。

表 8.78 铯与 ^{137}Cs 摄入量($\text{Cs } \mu\text{g/d}$ 和 $^{137}\text{Cs } 10^{-2}\text{Bq/d}$)的性别年龄组差异

组 别	项 目	摄入量	占 ALI, %	饮水, %	其它食品, %
2~7 岁组	Cs	14.02	—	0.6	99.4
	^{137}Cs	1.20	4×10^{-3}	13.3	86.7
8~12 岁组	Cs	19.54	—	0.6	99.4
	^{137}Cs	2.81	0.01	15.3	84.7
20~50 岁男子组	Cs	24.40	—	3.8	96.2
	^{137}Cs	4.29	0.02	9.3	90.7
20~50 岁女子组	Cs	24.00	—	2.1	97.9
	^{137}Cs	3.39	0.02	5.6	94.4

表 8.79 铯与 ^{137}Cs 摄入量($\text{Cs } \mu\text{g/d}$ 和 $^{137}\text{Cs } 10^{-2}\text{Bq/d}$)季节差异

		项 目	摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	Cs	—	—	—
		^{137}Cs	5.09	0.20	4.89
	秋季	Cs	—	—	—
		^{137}Cs	7.92	0.25	7.67
陕西省	春季	Cs	15.99	0.32	15.67
		^{137}Cs	1.49	0.09	1.40
	秋季	Cs	31.66	2.05	29.61
		^{137}Cs	3.26	0.27	2.99
平均值	春季	Cs	—	—	—
		^{137}Cs	3.29	0.14	3.14
	秋季	Cs	—	—	—
		^{137}Cs	5.59	0.26	5.33

由表 8.78 可见,铯和 ^{137}Cs 在不同性别年龄组之间呈一致的差异,各组 ^{137}Cs 摄入量占 ALI 的百分数都极小,与 ^{90}Sr 一样也说明 ^{137}Cs 对公众健康的威胁已大大下降,不再成为监测重点。两者主要来自食物,来自饮水的贡献很小。

表 8.79 表明,两省的 ^{137}Cs 和陕西省的铯摄入量均呈现秋季大于春季。

26. 钡,原子序数 56

(1)卫生学意义 生物学作用不明,性质与钙、镭相似。食用过量会引起呕吐、腹泻,影响中枢神经系统等。在辐射防护领域与镭放射性核素代谢有关。

(2)中国参考人钡的摄入量和食物来源 1992 年总膳食研究测定了各类食品中钡含量并估算了摄入量,结果如表 8.80 所示^[4]。

由表 8.80 可见,我国参考人的钡日摄入量为 1.50mg,比 ICRP 参考人推荐值(0.75mg)高一倍^[15]。食物来源主要是谷类和蔬菜类。在我国以南方一区最高,而北方二区最低。

表 8.80 钡摄入量(mg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	0.95	0.42	1.06	0.60	0.76
	总量%	57.6	47.7	49.3	44.8	50.7
豆 类	摄入量	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	总量%	3.0	5.7	2.3	3.7	3.3
薯 类	摄入量	0.05	0.05	0.01	0.22	0.08
	总量%	3.0	5.7	0.5	16.4	5.3

(续表)

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
肉 类	摄入量	0.05	0.05	0.20	0.09	0.10
	总量%	3.0	5.7	9.3	6.7	6.7
蛋 类	摄入量	0.04	0.01	0.02	0.10	0.04
	总量%	2.4	1.1	0.9	7.5	2.7
水产类	摄入量	0.04	0.00	0.06	0.01	0.03
	总量%	2.4	0.0	2.8	0.7	2.0
乳 类	摄入量	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
	总量%	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0
蔬菜类	摄入量	0.41	0.24	0.70	0.25	0.40
	总量%	24.8	27.3	32.6	18.6	26.7
水果类	摄入量	0.04	0.03	0.00	0.00	0.02
	总量%	2.4	3.4	0.0	0.0	1.3
糖 类	摄入量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
饮料及水	摄入量	0.02	0.03	0.00	0.02	0.02
	总量%	1.2	3.4	1.9	1.5	1.3
酒 类	摄入量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	总量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
总摄入量		1.65	0.88	2.15	1.34	1.50

(3)性别年龄组和季节性差异 1992年总膳食研究中,四省市典型调查开展了4个性别年龄组和陕西省春秋季节摄入量比较,性别年龄组差异结果见表8.81^[4]。

表 8.81 钡摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的性别年龄组差异

组别	摄入量	饮水, %	其它食品, %
2~7岁组	724	1.9	98.1
8~12岁组	1110	2.2	97.8
20~50岁男子组	1626	3.0	97.0
20~50岁女子组	1293	2.1	97.9

由表8.81可见,钡摄入量主要来自食物,饮水贡献很小。陕西省季节比较表明,秋季的钡摄入量远大于春季。

27. 汞,原子序数 80

(1)卫生学意义 有机汞的毒性比金属汞和无机汞大,而无机汞的甲基化是生物界中广泛存在的现象。海产鱼介类(特别是旗鱼、金枪鱼等)含汞最多,对食用量大的渔民造成威胁。食品污染主要来源是化工厂排放的废物中的汞,无机汞经过微生物作用转化为甲基汞和有机汞农药的施用,直接或经食物链转移进入人体。日本水俣病就是由于工业废水所致的汞中毒。伊拉克曾发生误食甲基汞处理过的小麦种子事件。由于汞和硫亲和性强,故汞毒性表现在能和构成蛋白质的硫结合,特别是和巯基发生特异反应,阻碍其活性。它使一系列含巯基酶活性受抑制,从而破坏了细胞基本功能和代谢,破坏肝脏解毒功能,并使细胞膜通透性改变而破坏细胞离子平衡,导致细胞坏死等^[21]。

(2)我国参考人汞的摄入量及食物来源 两次总膳食研究都测定过各类食品中汞含量并估算了摄入量,现将1992年的估算结果列于表8.82^[4]。

表 8.82 汞摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	2.4	1.4	4.5	1.4	2.4
	总量%	39.0	28.7	71.3	40.6	46.6
豆 类	摄入量	0.0	0.8	0.1	0.5	0.4
	总量%	0.9	15.8	1.5	15.2	7.0
薯 类	摄入量	0.2	0.5	0.0	0.1	0.2
	总量%	3.5	9.1	0.1	2.8	3.7
肉 类	摄入量	0.2	0.5	0.2	0.3	0.3
	总量%	2.6	9.6	2.6	9.3	5.4
蛋 类	摄入量	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
	总量%	3.0	1.2	1.5	7.4	2.8
水产类	摄入量	0.9	0.1	0.9	0.4	0.6
	总量%	14.4	1.4	14.4	11.1	10.7
乳 类	摄入量	0	0	0	0	0
	总量%	0	0	0	0	0
蔬菜类	摄入量	1.8	1.5	0.5	0.5	1.1
	总量%	29.9	30.1	8.4	13.7	20.8
水果类	摄入量	0.4	0.2	0.0	0.0	0.2
	总量%	6.8	4.2	0.2	0.1	3.0
糖 类	摄入量	0	0	0	0	0
	总量%	0	0	0	0	0
饮料及水	摄入量	0	0	0	0	0
	总量%	0	0	0	0	0
酒 类	摄入量	0	0	0	0	0
	总量%	0	0	0	0	0
总摄入量		6.1	5.0	6.3	3.4	5.2
占 ADI ¹⁾ %		14.2	11.6	14.6	7.9	12.1

1)ADI 值 $43\mu\text{g}$ 。

由表 8.82 可见,我国参考人日摄入量为 $5.2\mu\text{g}$,相当于 WHO 推荐 ADI 的 12.1%,比 1990 年调查结果($10.3\mu\text{g}$)为低。其主要食物来源是谷类、蔬菜类和水产类,与 1990 年结果一致。我国摄入量远低于 ICRP 参考人推荐值($15\mu\text{g}$),也说明我国膳食汞污染比西方膳食为少。各地区摄入量比较表明,沿海两区摄入量高于内地两区,主要由于水产类和谷类的摄入量较多。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季节摄入量比较,结果见表 8.83 和表 8.84^[4]。

由表 8.83 可见,未成年组摄入量占 ADI 百分数比成年组为高,摄入量全部来自食物。表 8.84 表明,陕西省秋季摄入量大于春季,而河北省秋季摄入量稍低于春季。

表 8.83 汞摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	摄入量	ADI,%	饮水,%	其它食品,%
2~7 岁组	16.5	3.8	32	0	100
8~12 岁组	29.4	7.1	34	0	100
20~50 岁男子组	63	3.8	9	0	100
20~50 岁女子组	53	3.1	8	0	100

表 8.84 北方两省汞摄入量(μg/d)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	2.8	0.0	2.8
	秋季	2.2	0.0	2.2
陕西省	春季	3.4	0.0	3.4
	秋季	5.2	0.0	5.2
平均值	春季	3.1	0.0	3.1
	秋季	3.7	0.0	3.7

28. 铅和²¹⁰Pb,原子序数 82

(1)卫生学意义 铅是作用于全身各系统的毒物。卟啉代谢障碍是铅中毒较早的重要变化之一。卟啉是血红蛋白合成过程的中间产物。铅的主要毒性是抑制了这个合成过程中的酶体系。铅蓄积在骨与软组织(特别是脑)中,导致功能下降。尤其是四乙基铅毒性甚大,可经呼吸道、皮肤或消化道吸收。进入消化道的四乙基铅在体内被肝脏转化成三乙基铅。对脑中葡萄糖的代谢过程有明显抑制作用,并导致脑组织缺氧,产生弥漫性脑损伤^[14]。铅是国际上普遍重视的化学污染物。膳食中铅含量通常视为食品卫生质量重要指标之一,近年国内外对其 ADI 逐步降低。过去,铅的膳食污染源主要是含铅自来水管、陶釉食具和容器以及环境中工业三废污染农田,近年经由吸入(如加铅汽油和吸烟)引起的污染上升。

²¹⁰Pb 是重要的天然放射性核素,属铀系衰变链成员,半衰期 22.26 年,发射 β 粒子。

(2)我国参考人铅和²¹⁰Pb 的摄入量和食物来源 两次总膳食研究都测定了各类食品中铅含量(1990 年还测定了²¹⁰Pb 含量)并估算了摄入量,现将 1992 年对铅和 1990 年对²¹⁰Pb 的摄入量估算结果分别列于表 8.85 和表 8.86^[3,4]。

表 8.85 铅摄入量(μg/d)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	22.8	38.8	94.6	13.5	42.4
	总量%	48.9	40.1	78.4	21.8	52.1
豆 类	摄入量	2.3	2.3	3.4	1.5	2.4
	总量%	4.9	2.4	2.8	2.3	2.9
薯 类	摄入量	4.3	4.9	0.3	1.6	2.8
	总量%	9.2	5.1	0.2	2.5	3.4
肉 类	摄入量	0.9	0.4	0.6	3.9	1.4
	总量%	1.9	0.4	0.5	6.3	1.8
蛋 类	摄入量	2.4	0.3	1.2	3.3	1.8
	总量%	5.2	0.3	1.0	5.3	2.2
水产类	摄入量	1.2	0.1	2.1	0.8	1.0
	总量%	2.6	0.1	1.8	1.2	1.3
乳 类	摄入量	0	0	0	0	0
	总量%	0	0	0	0	0
蔬菜类	摄入量	12.0	39.3	18.3	37.3	26.7
	总量%	25.8	40.6	15.2	60.4	32.8
水果类	摄入量	0.6	10.6	0	0.1	2.8
	总量%	1.3	11.0	0	0.1	3.5
糖 类	摄入量	0.1	0.1	0	0	0
	总量%	0.2	0.1	0	0	0
饮料及水	摄入量	0	0	0	0	0

(续表)						
种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
酒 类	总量%	0	0	0	0	0
	摄入量	0	0	0	0	0
	总量%	0	0	0	0	0
总摄入量		46.6	96.8	120.6	61.8	81.4
占 ADI ¹⁾ %		21.7	45.2	56.3	28.8	38.0

1)ADI 值为 214.3μg。

表 8.86 ²¹⁰Pb 摄入量(Bq/a)的膳食来源

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	0	47.98	0	18.68	16.67
	总量%	0	58.25	0	13.68	15.28
豆 类	摄入量	2.19	0	3.75	0.37	1.58
	总量%	2.51	0	2.88	0.27	1.45
薯 类	摄入量	0	1.80	0.53	0	0.58
	总量%	0	2.18	0.40	0	0.53
肉 类	摄入量	2.41	1.64	8.80	4.68	4.38
	总量%	2.76	1.99	6.74	3.42	4.01
蛋 类	摄入量	1.83	0.66	4.08	4.00	2.64
	总量%	2.10	0.80	3.12	2.93	2.42
水产类	摄入量	69.49	2.55	59.21	24.30	38.88
	总量%	79.87	3.09	45.40	17.80	35.65
乳 类	摄入量	0.20	0	0.05	0.01	0.06
	总量%	0.22	0	0.04	0.00	0.06
蔬菜类	摄入量	9.38	27.14	53.35	81.22	42.77
	总量%	10.78	32.95	40.91	59.50	39.21
水果类	摄入量	1.29	0.26	0.27	0.01	0.46
	总量%	1.48	0.32	0.21	0.01	0.42
糖 类	摄入量	0	0.03	0.36	0.06	0.10
	总量%	0	0.03	0.14	0.04	0.09
饮料及水	摄入量	0.23	0.32	0	3.18	0.93
	总量%	0.26	0.39	0	2.33	0.85
酒 类	摄入量	0.01	0	0.04	0.05	0.02
	总量%	0.01	0	0.03	0.04	0.02
总摄入量		87.0	82.4	130.4	136.5	109.1

由表 8.85 可见,我国参考人日摄入量为 81.4μg,相当于 WHO 推荐 ADI 的 38.0%。这平均摄入量与 1990 年调查结果(86.3μg)基本一致。其主要食物来源是谷类和蔬菜类。我国摄入量远低于 ICRP 参考人推荐值(440μg)^[15]。各地区摄入量比较表明,南方一区和北方二区摄入量高于其它两区。尽管²¹⁰Pb 理化和生物学特性应该类同于铅元素,但表 8.86 与表 8.85 相比显示了某些不同的结果:我国参考人年摄入量为 109.1Bq,²¹⁰Pb 摄入量中来自谷类的远比铅元素的少,而来自水产类的却远比铅元素的多,成为主要的食物来源,²¹⁰Pb 摄入量的地区性差异看来比铅元素小。这些不同可能启示经由空气沉降的污染对铅比对²¹⁰Pb 重要得多。

²¹⁰Pb 是公众天然本底内照射辐照的重要放射性核素之一。在 1982~1985 年全国食品放射性调查中曾对广东阳江高本底地区和江西某铀矿附近地区居民估算了²¹⁰Pb 年摄入量,分别为 160Bq 和 357Bq,明显高于正常本底地区^[20]。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季节摄入量比较,结果示于表 8.87 和表 8.88^[4]。

表 8.87 铅与²¹⁰Pb 摄入量(Pb μg/d 和²¹⁰Pb Bq/a)的性别年龄组差异

组 别	体重,kg	项目	摄入量	占 ADI,%	饮水,%	其它食品,%
2~7 岁组	16.5	Pb	71.0	120	1.5	98.4
		²¹⁰ Pb	23.4	—	3.1	96.9
8~12 岁组	29.4	Pb	103.7	99	0.8	99.1
		²¹⁰ Pb	81.0	—	0.9	99.1
20~50 岁男子组	63	Pb	199.0	93	0.9	99.1
		²¹⁰ Pb	143.8	—	1.5	98.5
20~50 岁女子组	53	Pb	151.1	80	0.2	99.8
		²¹⁰ Pb	109.9	—	2.7	97.3

表 8.88 铅与²¹⁰Pb 摄入量(Pb μg/d 和²¹⁰Pb Bq/a)季节差异

		项 目	摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	Pb	278.1	0.0	278.1
		²¹⁰ Pb	1.14	0.00	1.14
	秋季	Pb	321.4	3.0	318.4
		²¹⁰ Pb	5.21	0.06	5.14
陕西省	春季	Pb	186.2	0.0	186.2
		²¹⁰ Pb	3.20	0.12	3.07
	秋季	Pb	238.8	0.0	238.8
		²¹⁰ Pb	9.53	0.12	9.41
平均值	春季	Pb	232.2	0.0	232.2
		²¹⁰ Pb	2.17	0.06	2.10
	秋季	Pb	280.1	1.5	278.6
		²¹⁰ Pb	7.37	0.09	7.28

由表 8.87 可见,4 个性别年龄组的铅摄入量都接近相应 ADI,尤其是幼儿组已达到限值,看来对这四省市铅污染更应引起重视。铅和²¹⁰Pb 都主要来自食品,饮水贡献很少。由表 8.88 可见,铅和²¹⁰Pb 摄入量秋季都大于春季。

29. 钋,原子序数 84

(1)卫生学意义 钋为放射性元素,最重要的核素为铀天然放射系成员——²¹⁰Po。发射 α 粒子,半衰期为 138.38 天。主要来自地壳和土壤中铀和逸入大气的氡的衰变,可通过根系和叶面吸收进入植物,主要经由食物进入人体。尽管²¹⁰Po 在岩石中往往与母体核素处于放射性平衡状态,但进入人类环境和生物界后可由于理化、生物和气象等因素而失去平衡。所以必须分别测定²¹⁰Po 和²¹⁰Pb,可溶性²¹⁰Po 主要蓄积于人体脾脏和肾脏,是公众天然辐照的重要成分之一。

(2)我国参考人²¹⁰Po 摄入量和食物来源 1990 年总膳食研究和 1982~1985 年全国食品放射性含量调查都测定了食品中²¹⁰Po 含量并估算了摄入量^[3,20]。现将 1990 年调查结果列于表 8.89^[3]。

由表 8.89 可见,我国参考人²¹⁰Po 年摄入量为 125.5Bq,相当于 ALI 的 5.7%,还是相当安全的。比 ICRP 参考人推荐值(43.8Bq)高得多^[15]。其食物来源主要是蔬菜类、水产类和谷类。

在我国南方两区摄入量高于北方两区,以南方一区最高,而北方一区最低。1990 年的年摄入量比 1982~1985 年估算结果(59.84Bq)高得多,主要可能由于蔬菜类和水产类的摄入量增大。

表 8.89 ^{210}Po 摄入量(Bq/a)的膳食来源¹⁾

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	0	81.49	0	9.13	22.66
	总量%	0	71.78	0	5.81	18.05
豆 类	摄入量	2.04	0	3.27	0.38	1.43
	总量%	2.88	0	2.04	0.24	1.14
薯 类	摄入量	0	0.97	0.66	0	0.41
	总量%	0	0.86	0.41	0	0.33
肉 类	摄入量	2.87	0.86	1.29	4.98	2.50
	总量%	4.04	0.75	0.80	3.17	1.99
蛋 类	摄入量	1.54	0	4.22	2.61	2.09
	总量%	2.16	0	2.63	1.66	1.67
水产类	摄入量	53.01	1.38	92.37	32.33	44.77
	总量%	74.64	1.21	57.57	20.57	35.67
乳 类	摄入量	0.17	0	0.04	0.00	0.05
	总量%	0.24	0	0.02	0.00	0.04
蔬菜类	摄入量	10.35	28.27	58.25	104.13	50.35
	总量%	14.58	25.27	36.31	66.26	40.11
水果类	摄入量	0.95	0	0.28	0.02	0.31
	总量%	1.33	0	0.18	0.01	0.25
糖 类	摄入量	0	0.01	0.01	0	0.01
	总量%	0	0.01	0.00	0	0.00
饮料及水	摄入量	0.06	0.13	0	3.56	0.94
	总量%	0.09	0.12	0	2.27	0.75
酒 类	摄入量	0.00	0	0.04	0.03	0.02
	总量%	0.01	0.00	0.03	0.02	0.01
总摄入量		71.0	113.5	160.4	157.2	125.5
占 ALI ²⁾ %		3.2	5.2	7.3	7.1	5.7

注:1)本表引自 1990 年中国总膳食研究工作总结。

2)ALI 为 $2.2 \times 10^3 \text{Bq}$ 。

^{210}Po 也是公众天然本底辐射内剂量的重要组成。在 1982~1985 年全国食品放射性含量调查中,曾对广东阳江高本底地区和江西某铀矿附近地区进行了比较调查。结果表明,两地区 ^{210}Po 年摄入量相应为 131.33Bq 和 311.39Bq,分别相当于全国正常本底地区平均值的 2.19 倍和 5.20 倍。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中,四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季节摄入量比较,结果见表 8.90 和表 8.91^[4]。

由表 8.90 可见,4 个性别年龄组的摄入量占相应 ALI 的 3.5%~8.1%,是安全的。都主要来自食物,饮水贡献很小。表 8.91 表明,河北省的 ^{210}Po 摄入量春秋季节相近,而陕西省则秋季明显大于春季。

表 8.90 ²¹⁰Po 摄入量(10⁻²Bq/d)的性别年龄组差异

组别	摄入量	ALI,%	饮水,%	其它食品,%
2~7 岁组	2.17	3.5	3.7	96.3
8~12 岁组	8.52	8.1	0.9	99.1
20~50 岁男子组	12.23	5.4	1.7	98.3
20~50 岁女子组	15.13	6.6	1.7	98.3

表 8.91 北方两省²¹⁰Po 摄入量(10⁻²Bq/d)季节差异

		摄入量	饮水	其它食品
河北省	春季	12.89	0.03	12.86
	秋季	12.68	0.22	12.46
陕西省	春季	10.69	0.24	10.45
	秋季	29.86	0.35	29.51
平均值	春季	11.79	0.14	11.65
	秋季	21.27	0.28	20.98

30. 镭(²²⁶Ra 和 ²²⁸Ra),原子序数 88

(1)卫生学意义 镭是重要的天然放射性元素,主要的同位素有²²³Ra,²²⁴Ra,²²⁶Ra 和²²⁸Ra 四种:²²³Ra 是锕铀系成员,半衰期 11.6 天;²²⁶Ra 是铀系成员,半衰期 1600 年;²²⁴Ra 和²²⁸Ra 均为钍系成员,半衰期分别为 3.64 天和 5.76 年。按食品放射卫生观点,有辐射防护意义的是²²⁶Ra和²²⁸Ra。²²⁶Ra 发射 α 和 γ 粒子,²²⁸Ra 则为纯 β 放射性。镭同位素由于其相对可溶性,易于广泛在食物链中转移,经由食物进入人体。主要蓄积于骨骼,对造血器官导致辐照。

(2)我国参考人镭的摄入量和食物来源 1990 年总膳食研究和 1982~1985 年全国食品放射性含量调查都测定了食品中镭含量并估算了摄入量。现将 1990 年调查结果列于表 8.92 和表 8.93^[3]。

表 8.92 ²²⁶Ra 摄入量(Bq/a)的膳食来源¹⁾

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	8.67	11.50	7.27	4.46	7.98
	总量%	42.66	41.69	26.69	13.66	29.39
豆 类	摄入量	0.51	0.06	1.59	3.66	1.46
	总量%	2.53	0.22	5.85	10.96	5.37
薯 类	摄入量	0.28	4.54	0.49	13.46	4.69
	总量%	1.37	16.47	1.80	40.31	17.30
肉 类	摄入量	1.13	0.60	0.75	0.60	0.77
	总量%	5.58	2.17	2.73	1.81	2.84
蛋 类	摄入量	0.63	0.46	1.74	2.01	1.21
	总量%	3.09	1.68	6.38	6.01	4.45
水产类	摄入量	0.56	0.10	1.50	0	0.54
	总量%	2.77	0.38	9.49	0	1.99
乳 类	摄入量	0.03	0.03	0.12	0.02	0.05
	总量%	0.15	0.11	0.43	0.05	0.18
蔬菜类	摄入量	5.99	9.21	13.28	9.11	9.40
	总量%	29.45	33.39	48.77	27.28	34.63
水果类	摄入量	1.65	0.39	0.05	0.02	0.53
	总量%	8.13	1.40	0.18	0.07	1.95

(续表)

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
糖 类	摄入量	0.02	0.02	0.00	0.03	0.02
	总量%	0.10	0.09	0.01	0.09	0.07
饮料及水	摄入量	0.79	0.63	0.44	0	0.47
	总量%	3.88	2.29	1.62	0	1.71
酒 类	摄入量	0.06	0.03	0.01	0.02	0.03
	总量%	0.29	0.12	0.05	0.06	0.12
总摄入量		20.3	27.6	27.2	33.4	27.1
占 ALI% ²⁾		0.5	0.7	0.7	0.8	0.7

注:1)本表引自 1990 年中国总膳食研究工作总结。

2)ALI 为 $4.0 \times 10^3 \text{Bq}$ 。表 8.93 ^{228}Ra 摄入量(Bq/a)的膳食来源¹⁾

种 类	项 目	北方一区	北方二区	南方一区	南方二区	平均
谷 类	摄入量	0	9.67	58.68	6.78	18.78
	总量%	0	32.29	43.93	7.90	27.73
豆 类	摄入量	2.37	1.75	6.11	5.88	4.03
	总量%	10.97	5.84	4.57	6.85	5.94
薯 类	摄入量	0.69	6.52	0.63	21.78	7.41
	总量%	3.21	21.76	0.47	25.37	10.93
肉 类	摄入量	4.51	0.77	1.37	3.96	2.65
	总量%	20.90	2.56	1.02	4.62	3.91
蛋 类	摄入量	0.78	0.97	2.13	1.47	1.34
	总量%	3.59	3.25	1.60	1.71	1.97
水产类	摄入量	0.98	0.30	11.37	1.96	3.65
	总量%	4.52	1.0	8.51	2.29	5.39
乳 类	摄入量	0.13	0.17	0.01	0.06	0.09
	总量%	0.60	0.56	0.01	0.07	0.13
蔬菜类	摄入量	9.19	7.72	50.74	39.87	26.88
	总量%	42.59	25.78	37.98	46.45	39.68
水果类	摄入量	1.63	0.71	0.18	0.06	0.64
	总量%	7.53	2.37	0.13	0.07	0.95
糖 类	摄入量	0.01	0.04	0.02	0	0.02
	总量%	0.04	0.15	0.02	0	0.03
饮料及水	摄入量	1.26	1.32	2.31	4.01	2.22
	总量%	5.82	4.41	1.73	4.67	3.28
酒 类	摄入量	0.05	0.01	0.05	0	0.03
	总量%	0.21	0.03	0.04	0	0.04
总摄入量		21.6	30.0	133.6	85.8	67.7
占 ALI% ²⁾		1.1	1.5	6.7	4.3	3.4

注:1)本表引自 1990 年中国总膳食研究工作总结。

2)ALI 为年摄入量限值 $2.0 \times 10^3 \text{Bq}$ (GB14882-94)。

由表 8.92 可见,我国参考人 ^{226}Ra 年摄入量为 27.1Bq,相当于 ALI 的 0.7%,可见是很安全的。与 ICRP 参考人推荐值(31.0Bq)相近^[15]。食物来源主要是蔬菜类、谷类和薯类。在我国以南方二区摄入量最高,北方一区最低。1990 年 ^{226}Ra 年摄入量与 1982~1985 年调查估算结果(22.1Bq)和食物来源分布基本一致。由表 8.93 可见,中国参考人 ^{228}Ra 年摄入量为 67.7Bq,相

当于相应 ALI 的 3.4%，也是安全的。食物主要来源与²²⁶Ra 一致，但其地区差异较²²⁶Ra 为大，而且以南方一区最高，北方一区最低，呈现出南方两区高于北方两区的态势，这可能主要和土壤、岩石中铀、钍母体含量有关。1990 年所获的年摄入量比 1982~1985 年调查结果(30.2Bq) 为高，主要是蔬菜类和薯类贡献增大，但主要食物来源还是一致的。

²²⁶Ra 和²²⁸Ra 也是公众天然本底辐射内剂量的重要组成。在 1982~1985 年全国食品放射性含量调查中还对广东阳江高本底地区和江西某铀矿附近地区进行了比较调查。结果表明：在阳江高本底地区²²⁶Ra 和²²⁸Ra 年摄入量分别为 146.84Bq 和 264.27Bq，分别为全国正常本底地区的 6.64 倍和 8.75 倍；而在该铀矿附近地区²²⁶Ra 年摄入量达到 518.48Bq，是全国正常本底区的 23.46 倍，而²²⁸Ra 摄入量未见异常^[20]。

(3)性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中，四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和北方两省春秋季节摄入量比较，结果见表 8.94 和表 8.95^[4]。

表 8.94 ²²⁶Ra 与²²⁸Ra 摄入量(10⁻³Bq/d)的性别年龄组差异

组 别	项 目	摄入量	占 ALI, %	饮水, %	其它食品, %
2~7 岁组	²²⁶ Ra	4.21	1.0	13.5	86.5
	²²⁸ Ra	3.67	5.0	10.1	89.9
8~12 岁组	²²⁶ Ra	6.69	2.0	10.5	89.5
	²²⁸ Ra	4.53	6.8	14.1	85.6
20~50 岁男子组	²²⁶ Ra	11.20	1.1	11.8	88.2
	²²⁸ Ra	6.27	1.5	15.2	84.8
20~50 岁女子组	²²⁶ Ra	7.71	0.8	7.5	92.5
	²²⁸ Ra	8.56	2.1	6.9	93.1

表 8.95 ²²⁶Ra 与²²⁸Ra 摄入量(10⁻³Bq/d)季节差异

		项 目	摄入量	饮水, %	其它食品, %
河北省	春季	²²⁶ Ra	8.60	1.13	7.47
		²²⁸ Ra	15.14	0.69	14.45
	秋季	²²⁶ Ra	15.96	1.71	14.25
		²²⁸ Ra	8.32	1.71	6.61
陕西省	春季	²²⁶ Ra	4.69	0.32	4.37
		²²⁸ Ra	3.12	0.42	2.70
	秋季	²²⁶ Ra	9.90	0.42	9.48
		²²⁸ Ra	8.35	0.98	7.37
平均值	春季	²²⁶ Ra	6.64	0.72	5.92
		²²⁸ Ra	9.13	0.56	8.58
	秋季	²²⁶ Ra	12.93	1.06	11.86
		²²⁸ Ra	8.34	1.34	6.99

由表 8.94 可见，4 个性别年龄组的²²⁶Ra 和²²⁸Ra 摄入量分别占相应的 ALI 的 0.8%~2.0%和 1.5%~6.8%，都是相当安全的。这两种核素摄入都主要来自食品，饮水贡献相对较少。

由表 8.95 可见，除河北省秋季²²⁸Ra 摄入量小于春季外，其余都呈现出秋季摄入量大于春季。

31. 钍,原子序数 89

(1)卫生学意义 钍是钍天然放射系成员,半衰期为 21.77 年,兼有 α 和 β 放射性。能蓄积于骨骼,近年来已认识到是公众内照射来源之一。

(2)我国参考人钍的摄入量和食物来源 1982~1985 年全国食品放射性含量调查测定过各类食品中钍含量并估算了摄入量,结果如表 8.96 所示^[20]。

由表 8.96 可见,我国参考人²²⁷Ac 年摄入量为 293.4mBq。其食物来源主要是蔬菜类、谷类和薯类。在该调查中还对广东阳江高本底地区和江西某铀矿附近地区进行了比较调查。结果表明,两地区²²⁷Ac 年摄入量分别为 1.844Bq 和 7.204Bq,相当于全国正常本底地区平均值的 6.28 倍和 24.56 倍^[20]。

表 8.96 ²²⁷Ac 食品含量、摄入量及食物来源¹⁾

种 类	平均含量,10 ⁻³ Bq/kg	年摄入量,10 ⁻³ Bq	占总摄入量, %
大 米	0.80	61.0	20.8
面 粉	0.68	49.2	16.8
杂 粮	1.26	4.2	1.4
薯 类	0.60	35.7	12.2
干豆类	0.96	4.4	1.5
蔬菜类	1.04	120.6	41.1
水 果	0.19	1.9	0.6
奶 类	0.13	0.4	0.1
蛋 类	0.35	1.2	0.4
猪 肉	0.24	2.6	0.9
牛羊肉	0.34	1.0	0.3
鱼虾类	0.69	3.0	1.0
茶 叶	22.4	8.2	2.8
合 计		293.4	

1)均按原料食品可食部分计算。

32. 钍,原子序数 90

(1)卫生学意义 钍天然放射系的钍放射性核素有²³²Th 和²²⁸Th,其半衰期分别为 1.4×10^{10} 年和 1.91 年,均为 α 辐射体。²³²Th 是钍系的起始核素,成为公众本底内照射来源之一。钍可蓄积于骨骼。

(2)我国参考人钍的摄入量及食物来源 1982~1985 年全国食品放射性含量调查测定过各类食品中钍含量和估算了摄入量,结果见表 8.97^[20]。

表 8.97 ²³²Th 食品含量、摄入量及食物来源¹⁾

种 类	平均含量, $\mu\text{g/kg}$	年摄入量, μg	占总摄入量, %
大 米	3.61	275.4	20.9
面 粉	2.93	211.8	16.0
杂 粮	5.17	17.4	1.3
薯 类	1.25	74.4	5.6
干豆类	3.75	17.2	1.3
蔬菜类	5.78	670.5	50.8
藻 类 ²⁾	16.6	3.0	0.2

(续表)

种 类	平均含量, $\mu\text{g}/\text{kg}$	年摄入量, μg	占总摄入量, %
水 果	0.68	6.9	0.5
奶 类	0.30	1.0	0.1
蛋 类	1.26	4.5	0.3
猪 肉	0.78	8.5	0.6
牛羊肉	2.10	6.2	0.5
鱼虾类	1.06	4.6	0.3
茶 叶	49.6	18.1	1.4
合 计		1319.5	

注:1)均按原料食品可食部分计算。

2)引自文献[22]1979年测定值。

由表 8.97 可见,我国参考人 ^{232}Th 年摄入量为 $1319.5\mu\text{g}$ (5.32Bq),相当于 ALI 的 0.4% 左右,是相当安全的。我国食入摄入量稍高于 ICRP 参考人推荐值 ($1095\mu\text{g}$)。我国钍摄入量的食物来源主要是蔬菜类和谷类。在该调查中还对广东阳江高本底地区和江西某铀矿附近地区进行了比较调查。结果表明,广东阳江高本底地区年摄入量为 $1841.9\mu\text{g}$ (7.43Bq),相当于全国正常本底地区平均值的约 1.40 倍,而江西该铀矿附近地区未见明显增高^[20]。 ^{232}Th 是钍系的母体,而在该高本底地区摄入量的增高比其子体 ^{228}Ra 小得多,这可能由于钍在土壤中溶解性小得多。

33. 铀 (^{238}U , ^{235}U 和 ^{234}U), 原子序数 92

(1)卫生学意义 铀是铀和钍天然放射系的起始母体,包括 ^{234}U ($5.5 \times 10^{-3}\%$, 半衰期 2.45×10^5 年), ^{235}U (0.714% , 半衰期 7.038×10^8 年) 和 ^{238}U (99.27% , 半衰期 4.4638×10^9 年) 三种同位素,主要为 α 辐射体。铀主要蓄积于肾脏和骨骼,为公众天然本底内照射的成分。

(2)我国参考人铀的摄入量和食物来源 1982~1985 年全国食品放射性含量调查测定过各类食品中铀含量并估算过摄入量,结果如表 8.98 所示^[18]。

表 8.98 铀食品含量、摄入量及食物来源¹⁾

种 类	平均含量, $\mu\text{g}/\text{kg}$	年摄入量, μg	占总摄入量, %
大 米	0.81	61.8	15.7
面 粉	0.74	53.5	13.6
杂 粮	1.95	6.6	1.7
薯 类	1.17	69.6	17.7
干豆类	3.29	15.5	3.9
蔬菜类	1.28	148.5	37.8
藻 类 ²⁾	15.3	2.8	0.7
水 果	0.33	3.4	0.9
奶 类	1.06	3.5	0.9
蛋 类	0.68	2.4	0.6
猪 肉	0.55	6.0	1.5
牛羊肉	1.78	5.3	1.3
鱼虾类	0.96	4.1	1.0
茶 叶	27.15	9.9	2.5
合 计		392.9	

注:1)均按原料食品可食部分计算。

2)引自文献[22]1979年测定值。

由表 8.98 可见,我国参考人铀年摄入量为 $392.9\mu\text{g}$ (10.04Bq), 低于 A1.1 的 0.1%, 是很安全的。我国参考人食入摄入量比 ICRP 参考人推荐值 ($693.5\mu\text{g}$) 低得多。铀的主要食物来源是蔬菜类、谷类和薯类。在该调查中还对广东阳江高本底地区和江西某铀矿附近地区进行了比较。调查结果表明,两地区铀年摄入量分别为 $416.8\mu\text{g}$ (10.66Bq) 和 $11269.5\mu\text{g}$ (288.15Bq), 相当于全国正常本底地区平均值的 1.06 倍和 28.68 倍^[20]。该高本底地区铀摄入量升高不明显表明该地区土壤岩石中铀的溶出不多, 而江西该地区摄入量如此之高主要是因为当地主要污染源是铀水冶厂废水中溶解态的铀。

34. 铈(原子序数 51)、镧(原子序数 57)、铈(原子序数 58)和金(原子序数 79)

(1) 卫生学意义 镧和铈是两种稀土元素, 生物学作用不明。能与核酸、核蛋白形成络合物而干扰细胞代谢, 蓄积在软组织, 可能通过抑制酶而影响造血。铈生物效应不明。可抑制含巯基的酶, 干扰蛋白质、糖的代谢, 可引起化学性肺炎、损害肝脏。金属属于非必需元素, Au^{3+} 通过结合水合磺酸基而抑制可逆性蛋白酶。引起凝集和溶血作用^[14]。

(2) 我国部分地区这些元素的摄入量和食物来源 1992 年总膳食研究仅测定了我国南方两地区各类食品中这些元素的含量并估算了摄入量。由于只测定了部分地区, 不能代表全国调查结果, 估算的两地区平均值列于表 8.99^[4], 可供确定我国参考人摄入量时参考。

表 8.99 我国南方两区镧、铈、铈和金日摄入量均值及食物来源

种 类	La		Ce		Sb		Au	
	μg	总量, %	μg	总量, %	μg	总量, %	μg	总量, %
谷 类	23.22	61.8	29.74	59.1	15.06	75.0	69.66	45.8
豆 类	0.86	2.3	3.51	7.0	0.56	2.8	3.74	2.4
薯 类	1.56	4.2	2.66	5.3	0.50	2.5	6.85	4.5
肉 类	1.24	3.3	3.36	6.7	1.72	8.6	15.49	10.2
蛋 类	0.81	2.2	1.48	2.9	0.22	1.1	3.43	2.2
水产类	1.30	3.5	1.61	3.2	0.28	1.4	4.36	2.9
乳 类	0.06	0.2	0.20	0.4	0.02	0.1	0.30	0.2
蔬菜类	8.28	22.0	6.88	13.7	1.45	7.2	45.47	29.9
水果类	0.02	0.0	0.29	0.6	0.00	0.0	0.81	0.5
糖 类	0.01	0.0	0.02	0.0	0.01	0.0	0.16	0.1
饮料及水	1.09	0.5	0.54	1.1	0.26	1.3	1.89	1.2
酒 类	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.02	0.0
总摄入量	37.55		50.29		20.08		152.17	

由表 8.99 可见, 在我国南方两区调查所得相应于参考人的日摄入量为 $37.55\mu\text{g}$ (La), $50.29\mu\text{g}$ (Ce), $20.08\mu\text{g}$ (Sb) 和 $152.17\mu\text{g}$ (Au)。按文献报道, ICRP 参考人铈的日摄入量约为 $50\mu\text{g}$, 比我国调查估算结果高^[15]。除铈的食物来源主要是谷类外, 其余三种元素主要来自谷类和蔬菜类。

(3) 性别年龄组和季节性差异 1992 年总膳食研究中, 四省市典型调查开展了 4 个性别年龄组和陕西省春秋季节摄入量比较, 性别年龄组差异结果见表 8.100^[4]。

表 8.100 4 元素日摄入量($\mu\text{g}/\text{d}$)的性别年龄组差异

组 别	La	Ce	Sb	Au
2~7 岁组	11.32	21.23	3.06	324.9
8~12 岁组	36.54	53.89	7.71	461.2
20~50 岁男子组	33.25	76.11	13.26	422.4
20~50 岁女子组	29.02	89.46	11.58	282.8

陕西省季节性比较表明,除锑的摄入量秋季小于春季外,其它 3 个元素摄入量均以秋季为高。

六、放射性核素食入所致内照射剂量的剂量学模型

从辐射防护观点来说,放射性核素不但与其所属元素在人体内有相同的生物学转归,而且特定化合物形式的一些代谢(吸收、转移、滞留和排出)参数是从稳定元素资料获得的。人体摄入放射性核素后所受辐射剂量是根据人体所接受的待积有效剂量来表示的。计算的一般方法在文献中已有详细阐述^[7,23~24],这里只作简要介绍。

1. 食入放射性核素所致内剂量估算原理

放射性核素摄入量是内照射剂量估算的基础。当前对公众所致内剂量估算基本上沿用 ICRP 第 30 号出版物推荐的方法^[23],只是由于公众包括不同年龄组和 ICRP 第 26 号出版物已被第 60 号出版物所取代,及其后第 68 号和第 72 号出版物所提出的相应更新^[7,24]。待积有效剂量是已有明确组织权重因子的 12 个器官和组织以及“其余组织”的待积当量剂量和相应组织权重因子乘积的加和,而器官和组织待积当量剂量则是当量剂量率对特定时间的积分。积分时间对成年人为 50 年,对未成年人计算到 70 岁^[7]。靶器官的待积当量剂量取决于放射性核素摄入后在积分时间内源器官中的比有效能量。可见摄入后所致内剂量不仅和放射性核素本身特性有关,还受人体代谢的生物动力学模型和剂量学模型支配。

2. 计算放射性核素食入所致待积有效剂量采用的消化道模型

放射性核素随食物摄入后在体内组织中吸收和滞留也许是非常复杂的。为方便起见,ICRP 采用了便于计算的简单模型来描述。这些模型假设人体由若干个单独的隔室所组成,任何一个器官或组织可含有一个或几个隔室。隔室中放射性核素的减少服从一阶动力学规律。因此,一种元素在任何器官或组织中的滞留通常可由一个或若干个指数函数项来描述。ICRP 消化道模型见图 8.1(a)^[23]。

该模型把胃肠道视为由四部分组成,小肠是胃肠道转入体液的唯一吸收途径,对各部分壁和内容物质量、平均停留时间等采用了 ICRP 参考人的相应参数。ICRP 在其第 68 号出版物中为了使上述第 30 号出版物推荐的胃肠道模型能继续被应用,作出了以下修改:结肠只有一个组织权重因子,其剂量是两部分的质量加权平均值;食道有专门的组织权重因子,应包括于消化道模型,假设将胸腺比吸收分数作为食道的近似值;考虑到对象是公众,修正了一些消化道的 f_1 值。生物动力学模型也基于新资料作出某些修正^[24]。

食入的放射性核素以一定的速率向体液转移,然后向代表不同器官和组织的隔室转移的情况可用图 8.1(b)来说明。进入体液后在器官和组织沉积所需时间用隔室 a 表示,除个别元素代谢数据另有说明外,假设转移隔室廓清遵守半排期为 0.25 天的一阶动力学方程。然后放

放射性核素从各隔室以相应速率排出。

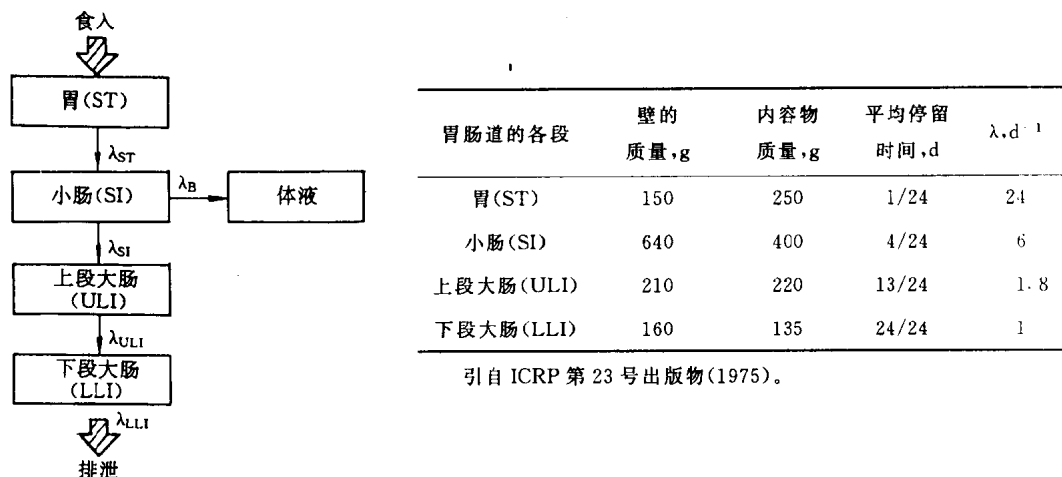


图 8.1(a) 描述胃肠道内放射性核素转移状况的数学模型

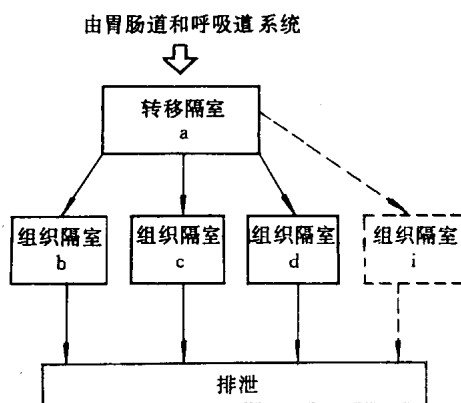


图 8.1(b) 描述体内放射性核素动力学行为的常用数学模型

食入内照射剂量计算尽管很复杂,在日常估算中通常采用某些简便方法。UNSCEAR 近年报告书中,对天然放射性核素以摄入量乘以食入剂量系数(食入单位活度所致待积有效剂量, Sv/Bq)来估算;对人工放射性核素由于其很大的时空差异而按不同来源估算集体剂量负担;对核试验释出核素采用隔室模型和转移系数,即将膳食(隔室 3)、组织(隔室 4)和剂量(隔室 5)以两个转移系数来联系,总转移系数为这两个转移系数的乘积。 ^3H 和 ^{14}C 剂量负担(人工部分)是通过与宇宙射线作用的产率与剂量比较估算的。

近年来,公众辐照日益受到重视,直到 ICRP 第 68 号出版物只是做了一些相应的必要修正,新的消化道模型预期即将公布。ICRP 这几年来发表了一系列关于公众摄入放射性核素的年龄依赖剂量系数的出版物^[7],必将对公众内照射剂量估算产生重大促进作用。

(诸洪达 陆梅)

参 考 文 献

- 1 王光亚主编. 食物成分表. 第一版. 北京: 人民卫生出版社, 1991. 1
- 2 WHO. Guidelines for the study of dietary intakes of chemical contaminants. WHO Offset Publication No. 87, 1985. 20
- 3 陈君石, 高俊全. 1990 年中国总膳食研究工作总结(中国总膳食研究鉴定会材料之二). 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所, 1992. 1
- 4 诸洪达, 高俊全等. 中国人膳食组成及食入元素和放射性核素摄入量研究(一). 辐射防护通讯, 1996, 16(2): 1
- 5 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所编著, 王光亚主编. 食物成分表. 第一版. 北京: 人民卫生出版社, 1991. 130
- 6 诸洪达. 元素和放射性核素膳食调查的评价指标及其卫生学意义. 辐射防护通讯, 1996, 16(2): 55
- 7 ICRP. ICRP Publication 72. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides; part 5. compilation of ingestion and inhalation dose coefficients, Oxford: Pergamon Press, 1996
- 8 中华人民共和国国家标准. 植物性食品中稀土限量卫生标准 GB13107-91. 第一版. 北京: 中国标准出版社, 1991. 1
- 9 中华人民共和国国家标准. 生活饮用水卫生标准 GB5749-85. 第一版. 北京: 中国标准出版社, 1985
- 10 中华人民共和国国家标准. 放射卫生防护基本标准 GB4792-84. 第一版. 北京: 中国标准出版社, 1985
- 11 诸洪达, 高俊全等. 中国人膳食组成及食入元素和放射性核素摄入量研究(二). 辐射防护通讯, 1996, 16(2): 25
- 12 中国预防医学科学院中心. 一九八二年全国营养调查总结. 1985, 11
- 13 葛可佑主编. 90 年代中国人群的膳食与营养状况(第一卷). 第一版. 北京: 人民卫生出版社, 1996
- 14 柴之芳, 祝汉民主编. 微量元素化学概论. 第一版. 北京: 原子能出版社, 1994. 1
- 15 ICRP. ICRP Publication 23. Report of the task group on reference man; anatomical, physiological and metabolic characteristics. Oxford: Pergamon Press, 1975
- 16 邵象伊, 王翔朴主编. 卫生学词典. 第一版. 北京: 人民卫生出版社, 1984. 354
- 17 UNSCEAR. 1993 Report to the general assembly, with scientific annexes. United Nations sales publication E 94 IX 2 United Nations. New York, 1993
- 18 USA Recommended Dietary Allowance 10 th Edition. Washington D C; National Academy Press, 1989. 198
- 19 何志谦编. 人类营养学. 第一版. 北京: 人民卫生出版社, 1988. 306
- 20 张景源, 诸洪达主编. 中国食品放射性及所致内剂量. 第一版. 北京: 中国环境科学出版社, 1989
- 21 廖自基编著. 环境中微量重金属元素的污染危害与迁移转化. 第一版. 北京: 科学出版社, 1989
- 22 海产食品放射性调查编辑组编. 海产食品放射性调查. 第一版. 北京: 原子能出版社, 1983
- 23 ICRP. ICRP Publication 30. Limits for intakes of radionuclides by workers, Part 1. Oxford: Pergamon Press, 1979. 2
- 24 ICRP. ICRP Publication 68. Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers. Oxford: Pergamon Press, 1994

第九章 水平衡

与其它营养素相比,水比较容易获得,且人体水的摄入随意性强,不同年龄、性别、体重、体表面积、地区、民族及生活习惯间差异较大,同一个体在不同条件下水的摄入也有较大不同,所以对正常人在正常环境下水平衡的研究资料较少,更多的资料是关于温度和人体活动对水需求的影响^[1~8]。人体在热环境下活动时,短时间内水的摄入和丢失难于达到精确的平衡,常出现水缺乏(脱水)和水过多(水中毒)现象,人体能够耐受的脱水量是体重的2%~4%。但从长期角度看,在水源供给充足的情况下,水的摄入和丢失仍呈现平衡,体重不会因为水平衡失调而发生明显变化。根据现有资料推荐参考人的水平衡模式见表9.1。

表 9.1 参考人水平衡(mL)

	人 水 量				失 水 量		
	成年男性	7~12 岁儿童	2~7 岁儿童		成年男性	7~12 岁儿童	2~7 岁儿童
水和饮料	1000	700	500	尿 液	1550	1200	950
食物含水	1200	1050	900	粪含水	150	100	50
物质氧化生水(内生水)	300	250	200	肺	300	250	200
总 计	2500	2000	1600	皮 肤	500	450	400
				总 计	2500	2000	1600

注:儿童通过肺、皮肤和粪便的水排出量是按热能消耗量推算的近似值。

一、体内的水

水是构成人体的重要组成成分,是维持人体正常生理活动最重要的物质之一。体内水的总含量随不同性别、年龄及组织而有差异(见表9.2)^[9,10]。正常人体内含水量介于总体重的45%~80%之间,同年龄不同个体体内含水量很大程度上取决于脂肪组织的多少。成年男性总水量约占体重的60%,其中细胞内液占体重的40%,细胞外液占体重的20%。在细胞外液中,血浆占25%,组织间液占75%。成年女性总水量约占体重的50%。婴儿体内水含量占体重百分比高于成人,达75%~80%。

表 9.2 体内水分布(%体重)

人 群	体内总水量	细胞内液	细胞外液	
			血浆	组织间液
婴 儿	75	45	4	26
成年男性	60	40	5	15
成年女性	50	35	4	11

成年人体内主要器官及组织的含水量依次为:脑脊髓(70%~80%)、肾脏(82%)、结缔组织(60%~80%)、心和肺脏(79%)、肌肉(76%)、皮肤(72%)、肝脏(70%)、骨骼(16%~46%)、

脂肪组织(25%~30%)(见表 9.3)。体液含水量为 79%~99%。器官中含水量较固定,体液量易变动,过量丢失影响水平衡。

表 9.3 成人体液和各器官中的含水量

体液	含水量, %	器 官	含水量, %
血液	83	心 脏	79
血浆	92	肺 脏	79
唾液	99.4	肝 脏	70
胆汁	79	肾 脏	82
尿液	95	肌 肉	76
汗液	89	骨 骼	16~46
乳汁	89	脂肪组织	25~30
		结缔组织	60~80
		皮 肤	72
		脑白质	70
		脑灰质	84

二、水的摄入及内生水

1. 摄入食物含水量

成年男性参考人每天摄入食物的含水量为 1200ml(1000~1500ml)^[12~14],与 ICRP 参考人推荐值(700ml)差距较大^[15],这与中国人膳食习惯有关。中国人主要膳食模式是早餐米粥、中餐和晚餐米饭(或其它面食)附带汤羹。一碗粥含米 30~40g、水 250ml,煮熟二两米饭需要水 200ml。以成年男人早餐摄入一碗米粥(250ml 水)、中餐和晚餐各 4 两米饭(200×4=800ml)附加一碗汤(250×2=500ml)计算,不包括食物本身的含水量,总摄入量可达到 1500ml 以上。在冬季,每餐之间不再饮水已能满足正常的生理代谢需要。

在儿童,尤其是一岁以下婴幼儿,他们的主食是流质或半流质^[12,16,17]。在生后 6 个月内,他们的饮食几乎全部是流质(人奶、牛奶或代乳品)。因此,关于水分的来源,很难分开哪些是饮入或哪些是食入的。在一般适宜天气情况下,人乳本身只要热量充足,就能供给足够水分,满足正常代谢需要。健康婴儿每日需要热量 120cal/kg,以 3~4 月龄婴儿体重为 5kg 计算,水分摄入和利用情况:①日热量总需要量=120×5=600cal,②日乳总需要量=100ml×(600÷66)=900ml(母乳或牛乳每 100ml 提供热量 66cal),③日食母乳提供水量 900ml×88=792ml(母乳含水量为 87.6%,牛乳含水量 88.1~90.0%),④每日水分通过肺、皮肤和粪的损失量,70ml/100cal×600cal=420ml(婴儿每消耗 100cal 热量通过肺、皮肤和粪损失水 70ml),⑤此时肾排出尿的张力,12m mol/L×6÷(792ml-420ml)=194m mol/L(母乳喂养时肾负荷量为 12m mol/L/100cal)。

健康成人肾脏最高能浓缩尿液可达 1400m mol/L[即溶液中能产生渗透效应的各种物质质点(分子或离子)的总浓度]。婴儿肾脏可浓缩尿液达 800m mol/L^[12,18]。可见母乳喂养是:只要母乳能提供足够热量,即使不额外喂水,也不会引起机体缺水。另外健康儿因生长发育需要,每日需保留总摄入水量的 0.5%~3%,同时食物氧化又放出一定量水(12ml÷100cal×

600cal)。二者可彼此抵消。

2. 摄入量

成年男性参考人在适宜环境温度下水和饮料摄入量为 1000ml(实际范围为 395~1643ml,平均为 929ml^[19,20])。在摄入的水和饮料中,自来水和水基饮料所占的比重仍缺乏详实的资料。儿童水的摄入量与年龄及体重密切相关。实际上一岁以内的婴儿主要依靠摄入流质和半流质食物提供机体所需要的水分(见摄入食物含水量)。

环境温度和体力活动影响水的需要量^[1,2,5,6]。在较低环境温度下从事轻微活动,水摄入和水损失很少受周围温度的影响。当环境温度大于 25℃时,水的摄入量增加,主要弥补出汗造成的体液损失。不同环境温度下进行同等强度的活动时水的需要量不同(见表 9.4)。在 41~45℃环境中从事中度体力劳动日需水量为 10.5~11.4L,而在 25~30℃环境中从事中度体力劳动日需水量为 6.3~7.5L。在相同环境温度下进行不同强度活动时水的需要量也不同,25~30℃环境中从事轻度体力劳动日需水量为 3.3L,从事极重度体力劳动时日需水量为 6.7~8.3L。

表 9.4 不同气温与劳动强度的全日需水量(L/d)

气温,℃	轻度劳动	中度劳动	重度劳动	极重度劳动
41~45	3.6	10.5~11.4	11.4~12.5	13.3~13.6
36~40	3.5	9.2~10.1	9.8~10.9	10.5~11.9
31~35	3.4	7.9~8.8	8.2~9.4	8.8~10.1
25~30	3.3	6.3~7.5	6.3~7.8	6.7~8.3

在热环境下从事体力活动时,凭口渴随意饮水总是低于水丢失量,只有在加量饮水情况下,摄入量才接近丢失量。但有研究发现,在热环境下劳动时,通过加量饮水,使摄入量接近丢失量则易增加胃肠道负担,受试者出现腹胀等胃肠反应。所以,在实际情况下,摄入水量只占水丢失量的 60%~80%。以需水量或水丢失量推测热环境下劳动时水摄入量显然高估了劳动过程中的水摄入量。劳动过程中形成的水负平衡,往往通过劳动后的饮食和饮水得以补偿。何子安和程素琦等人^[1,6]提出了(在水源充足条件下)《不同气温与劳动强度时的饮水量》,对推测热环境条件下劳动时饮水量有参考价值(见表 9.5)。

表 9.5 不同气温与劳动强度时的饮水量(L/h)

气温,℃	中度劳动	重度劳动	极重度劳动
41~45	0.86~0.97	0.97~1.11	1.09~1.23
36~40	0.71~0.83	0.78~0.93	0.88~1.04
31~35	0.56~0.68	0.60~0.74	0.67~0.84
25~30	0.38~0.53	0.38~0.56	0.42~0.62

3. 食物氧化生水

各种食物在机体内氧化时产生一定量水分(内生水)。脂肪和乙醇氧化后释放水分最多,蛋白质释放最少。知道摄入食物的数量和成分,根据表 9.6 可以计算出内生水量^[13,21~23]。普通食谱中每 100cal 热量食物代谢后产生 12ml 水(其范围为 10~15ml)。正常成年人每日食入 2500cal 的混合食物,大约产生 300ml 水。ICRP 推荐的成年参考人内生水量为 350ml^[15],高于中国人的 300ml。ICRP 资料是以美、英和澳大利亚等国的研究为基础提出的参考值,而美、英

和澳大利亚人每日摄入混合食物的热量(相当于 2800 ~ 3200cal) 高于中国人(相当于 2500cal), 所以内生水比中国人多 50ml。

内生水占人体水需要量的 12% 左右, 正常情况下对机体水代谢影响不大。在特殊情况下, 内生水和外源性水的数量要一并计算, 如全静脉营养、急性肾功能衰竭等需要严格计算

水补给量时, 应包括内生水在内, 否则可造成补液量不当。肥胖者在减少饮食、限制体重的初期, 体重往往先有所增加, 这是脂肪库被动用, 每克脂肪氧化产生 1.07ml 水的结果, 等到发生多尿之后, 体重才逐渐减轻。

表 9.6 各种食物氧化生水量

食 物, g	氧化生水, ml
碳水化合物	0.600
脂 肪	1.071
蛋 白 质	0.416
乙 醇(ml)	1.170
乳 酸	0.600

三、水的丢失

机体的水通过尿液、汗液(皮肤的显性和非显性汗液)、呼出气(呼出气包含的水蒸气)和粪便排出。正常环境下, 通过呼吸和胃肠道丢失的水分变化较小, 通过汗液和尿液丢失的水量变化较大。成年男性每天不可避免的水分丢失为 1500ml(包括皮肤非显性蒸发的水分 500ml, 呼出气丢失的水 300ml, 排出代谢产物尿量至少 500ml, 粪便含水 100ml)。

1. 通过尿液丢失的水量

尿液中含水、尿素、盐类、电解质、非蛋白含氮化合物、非含氮有机物、微量酶、激素及其代谢产物等。其中水占尿液总量的 95% ~ 97%^[24, 25]。尿液量变化很大, 摄水量、摄盐量、蛋白质摄入量、环境温度、活动及出汗量是影响尿量的主要因素。成年男性每日尿量为 500 ~ 2700ml, 推荐成年男性参考人每日尿液排出量为 1550ml。环境温度及体力活动是影响尿量的重要因素。在常温或较冷环境下, 饮水量增加, 尿量增加。大量饮水时, 尿毫渗量可降至 50m mol/L(相对密度为 1.002), 禁水时尿毫渗量可升至 1400m mol/L(相对密度为 1.035)。高蛋白饮食(每 100g 蛋白约产生尿素 30g), 肾脏负荷加大, 尿量增加。在高温环境从事重度体力劳动时, 尽管水的总摄入量增大, 由于出汗量增多, 尿量可少于 500ml(见表 9.7)。

表 9.7 成年男性工人高温作业时一个工作日进出水情况(ml)

车 间	工 种	气温, °C	气湿, %	总进水量	出汗量	排尿量
均 热 炉	揭盖机工	38.0	45	2186	2900	250
钳式吊车	司 机	39.6	57	2010	2746	243
轧 钢	轧钢工	31.8	68	1994	2123	465

2. 通过汗液丢失的水量

汗液主要成分有: ①水; ②电解质: Na^+ (9.8 ~ 77.2mmol/L), K^+ (3.9 ~ 9.2mmol/L), Ca^{2+} (5.2 ~ 65.1mmol/L), NH_4^+ (1.7 ~ 5.6mmol/L) 及微量的 Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Mg^{2+} 等; ③氨基酸: 包括谷氨酸、丙氨酸、亮氨酸及酪氨酸等; ④尿素 (1.7 ~ 5.6mmol/L); ⑤脂类: 包括中性脂肪、脂肪酸、胆固醇和类脂质等。还有葡萄糖、乳酸、免疫球蛋白、有色物质、荧光物质及臭物质等。其中水占汗液的 99.0% ~ 99.5%。成年男性在 20°C 室温和休息状态下, 通过皮肤蒸发(不显性

出汗)每日丢失的水量为 500ml(300~600ml)^[2,12,13]。机体活动时,不显性出汗量加大。体温每升 1℃,不显性出汗可增加 15%左右。环境温度超过 28℃(皮肤温度升至 34℃以上时),即使静止不做任何运动,也会有汗液分泌(显性出汗),显性出汗的汗量随温度升高而增加(见表 9.8)。

表 9.8 不同气温下安静者(成年男性)的出汗量

气温,℃	平均皮温,℃	相对湿度,%	出汗量,g/min
10	19.4	75	0.6
18	24.9	70	0.7
28	31.0	55	1.7
35	34.8	50	3.3
45	37.6	53	6.5

体力活动时,出汗量增加(见表 9.9,表 9.10)^[2,5,6]。在高温环境下从事重体力劳动时,成年男性每日出汗量可达到 13L。

表 9.9 不同湿黑球温度下成年男性进行中、重度体力劳动时出汗量

中度体力劳动			重度体力劳动		
WGT,℃	实验人次	出汗量,L/h	WGT,℃	实验人次	出汗量,L/h
26.8±0.6	12	0.551±0.137	26.5±0.7	21	0.678±0.095
	9	0.587±0.074		12	0.813±0.128
28.4±0.5	7	0.626±0.123	28.5±0.5	11	0.759±0.081
	7	0.730±0.075		5	0.934±0.119
30.4±0.7	22	0.880±0.127	30.4±0.5	14	1.062±0.119
	10	0.988±0.142		7	1.198±0.157

表 9.10 气象条件与劳动强度对发汗量的影响(L)

工 种	劳动强度	平均气温,℃	平均气湿,%	一般工作日发汗量
钳式吊司机	轻	39.6	57	3.0
均热炉工	中	34.1	59	3.6
冶炼工	中	36.6	49	5.7
采煤工	重	31.4	93	5.6
夏季露天搬运工	重	32.0	66	5.8

根据户外的研究结果程素琦等人提出了不同劳动强度、热强度与出汗量的回归方程对准确推测在热环境下从事不同强度体力劳动时的出汗量有实际意义(见表 9.11)^[1]。

表 9.11 不同劳动强度、热强度与出汗量的回归方程

温度类型	劳动强度	方 程
气温	中 度	出汗量(L/H)=0.03710×气温(%)−0.45164
	重 度	出汗量(L/H)=0.04553×气温(%)−0.66025
	极重度	出汗量(L/H)=0.05215×气温(%)−0.78146
WGT	中 度	出汗量(L/H)=0.09762×WGT(℃)−2.01938
	重 度	出汗量(L/H)=0.10342×WGT(℃)−2.00330

注:WGT 为湿黑球温度。

3. 通过呼吸丢失水量

肺在气体交换过程中不断丢失水分,丢失的水量与呼吸速度、深度、环境湿度、年龄及性别等因素有关。因为肺泡中气体的温度和血液相等,它又直接和大面积湿润的肺泡上皮细胞相接触,所以肺泡中气体的湿度可达 95%以上,比周围空气含水量多,因此通过呼出气丢失一定量的水分。成年男性参考人每日换气量为 11520L($16\text{b}/\text{min} \times 500\text{ml}/\text{b} \times 1440\text{min} = 11520\text{L}$),由此丢失的水分为 200~400ml^[12,13,22,24],因此建议成年男性参考人每日通过呼吸丢失的水分为 300ml。儿童通过呼吸丢失的水分可根据代谢率计算(14ml/100cal)。异常情况下,如高热以及呼吸性碱中毒时呼吸增强,通过呼吸丢失的水量可增至平时的 5 倍。

4. 通过粪便丢失水量

粪便含有水、脂肪、蛋白质、多糖、细菌分解物、电解质及未消化的食物残渣等。在食入混合膳食时,水占粪便总重量的 70%~80%;食入素食时,水含量可高达 87%;以肉食为主时,水含量只占 70%。关于每日粪便排出量,国内很少有文献报道。因为通过粪便排出的水量只占水丢失总量的 5%左右,所以国外该方面报道对进行国人水平衡的研究有参考意义。成人粪便排出量为 150g(范围为 60~500g)。ICRP 推荐成年男性参考人粪便排出量为 135g,儿童为 20~150g,婴儿为 4~12g。考虑到国人膳食中素食比例较大,所以推荐我国成年男性参考人每日通过粪便排出的水量为 150ml。

尽管在正常情况下,每日通过胃肠道丢失的水分占机体丢失水量的 5%左右,但在异常情况下,通过胃肠道丢失的水量有很大变化。实际上,每天有大量的水和电解质进入和分泌到胃和肠道(见表 9.12)。在成人每日仅分泌到胃肠道的液体量为 7500~10000ml,相当于血浆(3500ml)的 2 倍多。在正常情况下分泌到

表 9.12 一般成人 24h 胃肠道各部分泌液量

消化液种类	分泌液量,ml
唾液	1500
胃液	2500
胆汁	500
胰液	700
肠液	3000
总量	8200

胃肠道的液体完成其消化作用后,几乎全部在回肠与结肠段回收。但在呕吐或者腹泻时大量水分通过胃肠道丢失(具体丢失的量视病情而定),易引起水平衡失调。

(刘洪涛 杨晓昊 窦兰君)

参 考 文 献

1 何子安,等.热环境军事劳动人员的水盐补给量.解放军预防医学杂志,1996,14:313
2 张国高.高温生理与卫生.第一版.上海:上海科学技术出版社,1989
3 刘文魁.物理因素职业卫生.第一版.北京:科学出版社出版,1995
4 钱信忠.中国医学百科全书.军队卫生学.上海:上海科学技术出版社,1982
5 罗炳德,等.不同湿黑球温度下军事劳动时的适宜饮水量.军事医学科学院院刊,1991,15:63
6 程素琦,等.炎热劳动时的水盐需要量.营养学报,1982,4:153
7 Mudambo KSMT,et al. Adequacy of food rations in soldiers during exercise in hot,day-time conditions assessed by doubly labelled water and energy balance methods. Eur J Appl physiol,1997,76:346~351
8 贺涵贞,等.高温作业耐热保健饮料实验研究.工业卫生与职业病,1990,16:201
9 唐元升,等.人体医学参数与概念.济南:济南出版社,1995.299
10 姚磊,等.医学常用数据手册.北京:中国广播电视出版社,1995.24
11 徐丰彦.人体生理学.第二版.北京:人民卫生出版社,1987.876

- 12 邓金璠,等. 体液平衡与输液. 北京:儿童医院,1974. 114
- 13 乐文照,等. 水、电解质平衡与临床. 上海:上海科学技术出版社,1985. 12
- 14 乐文照. 水、电解质平衡与临床. 1985. 12. 第一版. 上海:上海科学技术出版社,1984
- 15 ICRP. Report of the task group on reference Men. Oxford:Pergamon Press,1975
- 16 杜祠康,等. 小儿水电解质平衡与液体疗法. 北京:人民卫生出版社,1993. 8
- 17 邓金璠. 体液平衡与输液. 北京:人民卫生出版社,1983
- 18 王宝琳,等. 小儿肾脏病学. 北京:人民卫生出版社,1982. 10
- 19 诸洪达,等. 中国人膳食组成及食入元素和放射性核素摄入量研究(一)全国性调查结果. 辐射防护通讯,1996,16:1
- 20 诸洪达,等. 中国人膳食组成及食入元素和放射性核素摄入量研究(二)地区差异调查结果. 辐射防护通讯,1996,16:25
- 21 顾景范,临床营养学. 第一版. 上海:上海科学技术出版社,1990
- 22 中国医学科学院首都医院. 水与电解质平衡. 北京:人民卫生出版社
- 23 王光亚. 食物成分表. 第一版. 北京:人民卫生出版社,1991
- 24 杨在春,等. 新编临床医学数据手册. 北京:金盾出版社,1992. 218
- 25 江正辉. 临床水、电解质及酸碱平衡. 重庆:重庆出版社,1991. 32

第十章 肺功能正常值及 ICRP 呼吸道模型

一、引言

多年来,中国所使用的肺功能正常值仍是 50 年代的数据,在 60 年代虽有些增加,但选例较少,而且仅限于个别地区。由于肺功能各项参数的正常值受地区、环境和气候等因素的影响,不同地区的正常值会有一定差异。经国家卫生部批准和支持,于 1987 年开始制定统一计划,统一选例标准与测定方法,分别在我国六大行政区(西南地区在重庆和成都两个地区分别进行)开展肺功能测定工作。该工作由华北、东北、西北、西南、上海和广东地区各医学院校和研究所负责组织完成。这是继 50 年代以来,第一次大规模采用现代化仪器和测试方法所进行的肺功能测定工作。所得测定结果收集在《全国肺功能正常值汇编》(以下简称《汇编》)一书中^[1]。《汇编》未对各地区的数据进行汇总统计,仍以原稿格式按六大区分别编印。

本文给出的中国人肺功能正常值是根据《汇编》中的各区数据,利用统计学方法计算出来的。笔者计算肺功能正常值的目的不是用于呼吸系统疾病的诊断,而是为内照射剂量估算提供某些供参考的呼吸生理参数。

国际放射防护委员会(ICRP)迄今曾经使用过三个肺模型,即 ICRP 第 2 号,第 30 号和第 66 号出版物推荐的模型^[2~4]。ICRP 第 66 号出版物推荐的用于放射防护的人呼吸道模型(简称 1994 年呼吸道模型)不是重新建立的模型,而是在改进第 30 号出版物推荐的呼吸系统模型的基础上建立起来的,它既能用于工作人员,又能用于世界人口的所有成员。本文将简要介绍 1994 年呼吸道模型。

根据 ICRP1994 年呼吸道模型,呼吸道各组织和细胞所受的辐射剂量在很大程度上取决于呼吸特点和呼吸参数,因为它们影响吸入空气的速率和气体通过鼻和口腔进入肺的比例,所以也就影响吸入放射性粒子和气体的数量,以及放射性物质在呼吸道的沉积量。呼吸参数在世界各人群中是不相同的,这些参数与身体大小、体力劳动轻重水平、呼吸道的健康状况,以及是否吸烟有关。显然,能适用于不同种族群体的所有个体的呼吸道模型必然极为复杂,看来这既不现实又没有必要。ICRP 选择能代表工作着的白种人(男性和女性)的参考呼吸数值用于工作人员,选择所有年龄的、不处于工作状态的男女白种人的参考呼吸数值用于公众成员。ICRP 指出,为了预测工作人员及公众成员吸入放射性核素所产生的剂量,应采用所关心的群体的生理学数据,来代替 ICRP 推荐的缺省值;为了对个体受照进行评价,建议用个体所特有的呼吸道参数。

二、中国人肺功能正常值

1. 测定对象与方法

选例对象多来自医院、机关、科研单位的工作人员,还有学生、工人、农民和离退休人员。选

例条件为:不吸烟,或5年内日吸烟量少于10支,或已戒烟3年;无心、肺、肝疾病史;近三周内无感冒史;胸部X线、心电图检查正常;未参加过系统的体育锻炼;无接触有害粉尘史,环境空气无严重污染;体重在正常范围。六个行政区均将男女两性被测者分开,各分成6个年龄组,华北地区、上海和成都的年龄分组为:15~19岁,20~29岁,30~39岁,40~49岁,50~59岁,60岁以上。西北地区将18~19岁列为一组,其余几组划分同华北地区;重庆地区的年龄分组则有所不同;其男性年龄划分为:18~29岁,30~39岁,40~49岁,50~59岁,60~69岁,70岁以上;女性则分为17~29岁,30~39岁,40~49岁,50~59岁,60岁以上共5个组。东北地区和广东未给出年龄分组数据。

虽各区所采用的测量仪器不尽相同,但均采用统一规定的仪器,并按要求定期标化,以确保肺功能测定结果的可比性。

2. 肺功能指标的定义^[5]

潮气容积(VT):平静呼吸时,每次吸入或呼出的气量,L。补吸气容积(IRV):平静吸气后所能吸入的量大气量,L。补呼气容积(ERV):平静呼气后能继续呼出的量大气量,L。残气容积(RV):补呼气后肺内不能呼出的残留气量,L。深吸气量(IC):平静呼气后能吸入的量大气量,L, $IC=VT+IRV$ 。肺活量(VC):最大吸气后能呼出的最大气量,L, $VC=IC+ERV$ 。功能残气量(FRC):平静呼气后肺内所含有的气量,L, $FRC=ERV+RV$ 。肺总量(TLC):深吸气后肺内所含有的总气量,L, $TLC=VC+RV$ 。上述各量的关系用图10.1表示^[6]。

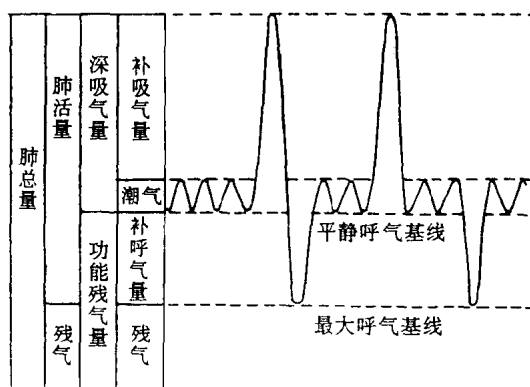


图 10.1 肺容量及其组成

用力肺活量(FVC):指最大吸气至 TLC 位后以最大的努力,最快的速度作呼气肺活量达 RV 位,L。3 s 用力呼气容积(FEV_{3.0})指最大吸气至 TLC 位后 3 s 内的快速呼出量。用力肺活量曲线见图 10.2。

1 s 用力呼气容积(FEV_{1.0})和 1 s 率(FEV_{1.0}%):分别指最大吸气至 TLC 位后 1 s 之内的快速呼出量和 1 s 用力呼气容积占用力肺活量的比值,常以 FEV_{1.0}/FVC%(或 FEV_{1.0}/VC%)表示。

最大呼气中段流量(MMEF,或 MMF):由 FVC 曲线上计算获得用力呼出肺活量 25%~75% 的平均流量,L/s。

每分钟静息通气量(VE):在基础代谢情况下(或静息状态下)每分钟所呼出的气量,也就是维持基础代谢所需的每分钟通气量,L/min。

最大通气量(MVV):指在单位时间内以尽快的速度和尽可能深的幅度重复最大自主努力呼吸所得到的通气量,L/min。

最大呼气流量(PF)、25%肺活量位最大呼气流量($\dot{V}_{25}$)、50%肺活量位最大呼气流量($\dot{V}_{50}$)、75%肺活量位最大呼气流量($\dot{V}_{75}$),L/s。

在作用力肺活量时,令受试者吸气至肺总量后,用最快最大力量呼气至残气位,呼气流速因肺容量的不同而不同,以此绘图,即得最大呼气流速-容量曲线,即 MEFVC,以下

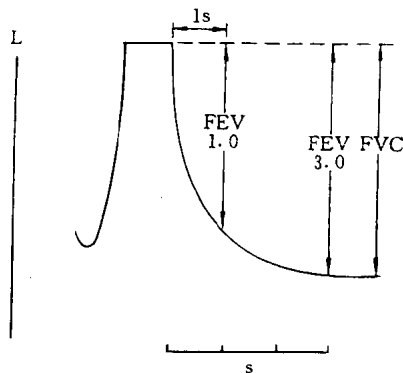


图 10.2 用力肺活量曲线

简称流速-容量曲线。正常人 MEFVC 示于图 10.3^[7]。

由图 10.3 可知,呼气流速随肺容量的改变而改变,从肺总量开始,呼气量很快达到流速峰值,即最大呼气流量(PF)。因为此时正处于肺容量的“用力有关”部分。当继续呼气到达肺容量的“用力无关”部分时,即使用力不变,呼气流速随着肺容积的减少而逐渐降低,曲线斜行下降,最后降至零。 $\dot{V}_{25}$, $\dot{V}_{50}$, $\dot{V}_{75}$ 即是肺活量为 25%, 50% 和 75% 时的流速。

3. 各行政区肺功能数值

在《全国肺功能正常值汇编》一书中,并未对各行政区的测定结果进行统一的统计学处理,以得出全国的数据。在该汇编中,华北、东北地区只分别给出了男女所有年龄的平均值,未给出各年龄组的肺功能测定结果;上海和西北地区给出了各年龄

组的结果,但未分别给出成年男女的各项肺功能平均值;重庆和成都则既给出各年龄组各项指标的平均值,又分别给出成年男女各项肺功能的平均值;广东地区只给出了广东人肺功能正常值的回归方程。

各区所测肺功能指标的数目很不一样,少者为 12 项(如西北地区),多者为 44 项(广东地区)。本文就男女 17 项肺功能指标分别给出每个地区 6 个年龄组的平均值(见表 10.1);西北地区和上海的结果是由其各年龄组数据计算的;广东的数据是根据年龄、身高和体重均值利用回归方程计算的,该表中只列出平均值,未给出标准差;华北、东北、重庆和成都地区的数据直接取自汇编。

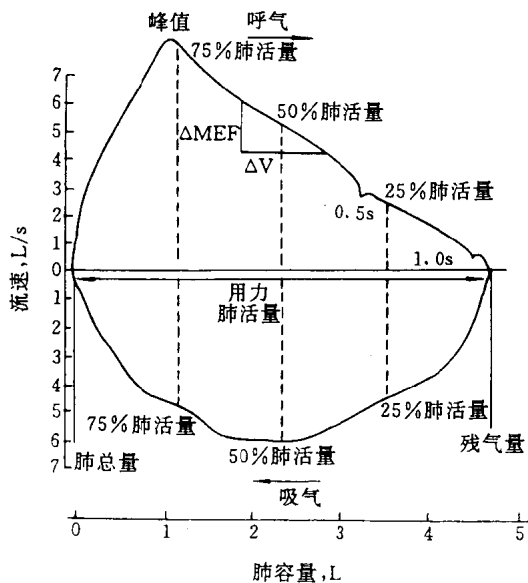


图 10.3 正常流速-容量曲线

表 10.1 全国各地区正常人肺功能正常值

肺功能	地区	男		女	
		均值	标准差	均值	标准差
VC	华北	4.3593	0.6643	3.2305	0.4884
	东北	4.2177	0.6909	3.1058	0.4527
	西北	4.0000	0.5900	2.9677	0.4173
	重庆	4.083	0.627	2.965	0.432
	成都	4.087	0.678	2.956	0.508
	上海	4.2396	0.5073	3.0292	0.4300
	广东	4.1162	—	3.0366	—
	全国	4.1374	0.6312	3.0580	0.4443
IC	华北	2.8493	0.4634	2.1400	0.3439
	东北	2.6177	0.5481	1.9705	0.3811
	西北	2.2678	0.6860	1.8414	0.4451
	重庆	2.605	0.469	1.945	0.353
	成都	2.578	0.491	1.895	0.375
	上海	2.8074	0.4826	2.0461	0.3603
	广东 ¹⁾	—	—	—	—
	全国	2.5434	0.5694	1.9638	0.3898
ERV	华北	1.5090	0.4615	1.0933	0.3254
	东北	1.6031	0.4927	1.1261	0.3383
	西北	1.4426	0.5222	1.0102	0.3325
	重庆	1.471	0.432	1.008	0.301
	成都	1.511	0.437	1.072	0.356
	上海	1.4320	0.4106	1.0084	0.4010
	广东	1.5344	—	1.3019	—
	全国	1.4979	0.4812	1.0778	0.3377
FRC	华北	2.9975	0.6130	2.2983	0.4303
	东北	3.2958	0.9027	2.5159	0.5440
	西北 ²⁾	—	—	—	—
	重庆	3.390	0.761	2.292	0.522
	成都	3.112	0.611	2.348	0.479
	上海	3.2661	0.6509	2.4335	0.5411
	广东	—	—	—	—
	全国	3.2074	0.7006	2.3501	0.4894
RV	华北	1.5186	0.3886	1.1830	0.2853
	东北	1.9506	0.7152	1.5187	0.4950
	西北	—	—	—	—
	重庆	1.962	0.650	1.279	0.430
	成都	1.615	0.397	1.245	0.336
	上海	1.8194	0.5344	1.4538	0.4502
	广东	1.6238	—	1.2287	—
	全国	1.7475	0.5436	1.2855	0.3815
TLC	华北	5.8936	0.8113	4.4151	0.6050
	东北	6.1892	1.1153	4.7038	0.7465
	西北	—	—	—	—
	重庆	5.991	0.939	4.241	0.617
	成都	5.766	0.782	4.353	0.644
	上海	6.0368	0.7848	4.4640	0.7152
	广东	5.4739	—	4.1468	—
	全国	5.9105	0.8812	4.3759	0.6489

注：1)文献[1]中未给出该项肺功能的回归方程。

2)在文献[1]中，西北地区未给出该项肺功能数据。

(续表)

肺功能	地区	男		女	
		均值	标准差	均值	标准差
RV/TLC	华北	25.7219	5.3429	26.7161	5.1981
	东北	30.37	7.75	31.92	6.70
	西北	—	—	—	—
	重庆	31.81	8.027	29.762	7.04
	成都	28.011	5.619	28.792	6.773
	上海	29.9430	6.2560	32.3329	6.8338
	广东	26.7639	—	28.4055	—
	全国	28.8091	6.7444	29.0532	6.2784
FVC	华北	4.3256	0.6838	3.2143	0.4942
	东北	4.2271	0.7153	3.1228	0.4712
	西北	3.3724	0.8270	2.2547	0.6407
	重庆	3.982	0.648	2.987	0.472
	成都	3.977	0.692	2.886	0.547
	上海	4.1192	0.4940	2.9737	0.4351
	广东	3.859	—	2.7917	—
	全国	3.8889	0.7275	2.8409	0.5315
FEV _{1.0}	华北	3.6865	0.6332	2.8214	0.4619
	东北	3.5551	0.6812	2.7251	0.4665
	西北	—	—	—	—
	重庆	3.119	0.569	2.398	0.403
	成都	3.285	0.652	2.486	0.531
	上海	3.4744	0.4733	2.5220	0.3656
	广东	3.3672	—	2.4264	—
	全国	3.4398	0.6221	2.6177	0.4519
FEV _{1.0} %	华北	85.2698	6.3718	87.7626	5.3574
	东北	84.22	7.55	87.26	7.38
	西北	82.4879	8.1183	86.2368	5.8284
	重庆	78.47	6.541	80.38	6.109
	成都	82.763	6.505	85.917	6.418
	上海	83.4751	6.6469	84.8407	5.9313
	广东	83.9284	—	84.9814	—
	全国	82.7845	7.3160	86.0089	6.2988
MMF	华北	3.9560	1.0903	3.3958	0.8463
	东北	3.9782	1.3020	3.4231	1.0020
	西北	3.4777	1.0329	3.0175	0.7786
	重庆	3.114	1.1049	2.588	0.869
	成都	3.452	1.160	2.836	0.945
	上海	3.6878	1.2355	2.9931	1.0096
	广东	—	—	—	—
	全国	3.6119	1.1356	3.1419	0.8959
MVV	华北	135.4810	26.2083	100.054	18.3115
	东北	109.99	23.12	83.13	17.28
	西北	114.6717	20.6485	84.7395	15.9104
	重庆	120.95	21.24	86.870	17.62
	成都	116.423	27.313	83.307	20.149
	上海	129.8506	25.3726	88.2860	16.3174
	广东	139.0355	—	108.6502	—
	全国	119.9625	22.9172	88.8377	17.2358

(续表)

肺功能	地区	男		女	
		均值	标准差	均值	标准差
PF	华北	8.9546	1.5783	6.4276	1.1082
	东北	7.6604	1.3348	5.8039	1.0994
	西北	7.6422	1.7908	5.2809	1.2901
	重庆	7.828	2.2599	5.971	1.765
	成都	7.126	1.364	5.429	1.151
	上海	9.1098	1.7397	6.2664	1.2956
	广东	8.0493	—	5.8578	—
	全国	7.9835	1.7646	5.8092	1.2734
V_{75}	华北	7.1527	1.3614	5.5819	0.9905
	东北	6.8049	1.3713	5.4651	1.1112
	西北	6.3147	1.4327	4.7765	1.1681
	重庆	6.461	1.8133	4.988	1.219
	成都	5.860	1.290	4.750	0.983
	上海	7.7814	1.7894	5.7727	1.0902
	广东	—	—	—	—
	全国	6.6413	1.5074	5.1965	1.1091
V_{50}	华北	4.2123	1.1084	3.6378	0.8659
	东北	4.3887	1.1957	3.7169	0.9366
	西北	3.8465	1.0536	3.3438	0.8796
	重庆	3.572	1.0434	3.036	0.7568
	成都	3.424	1.053	2.950	0.887
	上海	4.8098	1.5853	3.8233	0.9269
	广东	—	—	—	—
	全国	3.9919	1.1293	3.4686	0.8821
V_{25}	华北	1.7447	0.7253	1.5008	0.5757
	东北	2.0072	0.7695	1.7652	0.5633
	西北	1.5657	0.6738	1.4086	0.5307
	重庆	1.139	0.6287	1.019	0.5884
	成都	1.325	0.658	1.152	0.689
	上海	2.0416	0.8713	1.6121	0.5948
	广东	—	—	—	—
	全国	1.6112	0.7058	1.4637	0.5707
V_{50}/V_{25}	华北	2.6553	0.7903	2.6148	0.6933
	东北	2.32	0.54	2.21	0.49
	西北	2.7666	0.7386	2.6092	0.8260
	重庆	3.724	1.500	3.629	1.400
	成都	2.937	1.072	3.149	1.374
	上海	2.6989	0.7597	2.7219	0.8205
	广东	—	—	—	—
	全国	2.8577	0.9296	2.6812	0.8738

4. 中国人肺功能正常值

为使用方便,将中国人某些肺功能正常值列于表 10.2。这些数值是根据表 10.1 中全国各地区肺功能正常值计算而来的。表 10.2 肺功能正常值的平均值中包括广东省数据,计算标准差时未计入广东省数据。

表 10.2 中国人肺功能正常值

肺功能	男		女	
	均值	标准差	均值	标准差
VC(L)	4.1374	0.6312	3.0580	0.4443
IC(L)	2.5434	0.5694	1.9638	0.3898
ERV(L)	1.4979	0.4812	1.0778	0.3377
FRC(L)	3.2074	0.7006	2.3501	0.4894
RV(L)	1.7475	0.5436	1.2855	0.3815
TLC(L)	5.9105	0.8812	4.3759	0.6489
RV/TLC(%)	28.8091	6.7444	29.0532	6.2784
FVC(L)	3.8889	0.7275	2.8409	0.5315
FEV _{1.0} (L)	3.4398	0.6221	2.6177	0.4519
FEV _{1.0} (%)	82.7845	7.3160	86.0089	6.2988
MMF(L/s)	3.6119	1.1356	3.1419	0.8959
VE ¹⁾ (L/min)	6.628	1.688	5.648	1.466
MVV(L/min)	119.9625	22.9172	88.8377	17.2358
PF(L/s)	7.9835	1.7646	5.8092	1.2734
$\dot{V}_{75}$ (L/s)	6.6413	1.5074	5.1965	1.1091
$\dot{V}_{50}$ (L/s)	3.9919	1.1293	3.4686	0.8821
$\dot{V}_{25}$ (L/s)	1.6112	0.7058	1.4637	0.5707
$\dot{V}_{50}/\dot{V}_{25}$ (%)	2.8577	0.9296	2.6812	0.8738

注：本表是成都一个地区的数据。

5. 正常人年龄、身高、体重与肺功能的关系

在年龄、身高、体重与肺功能的关系中，以年龄与肺功能的关系最为密切，对成人来说，多

表 10.3 正常 7 项肺功能测量值的回归方程

项 目	性别	正常预计值公式	复相关系数
VC	男	$-5.425-0.020\times A+0.058\times H+0.012\times W$	0.8118
(L)	女	$-2.827-0.012\times A+0.04\times H$	0.7359
FRC	男	$-7.812+0.005\times A+0.079\times H-0.042\times W$	0.6473
(L)	女	$-4.955+0.005\times A+0.055\times H-0.030\times W$	0.5564
RV/TLC	男	$-2.31+0.218\times A+0.232\times H-0.295\times W$	0.6289
(%)	女	$22.091+0.234\times A-0.091\times W$	0.7014
MMEF	男	$1.50-0.046\times A+0.032\times H-0.028\times W$	0.7342
(L/s)	女	$4.339-0.038\times A$	0.6689
$\dot{V}_{75}$	男	$4.69-0.022\times A+0.035\times W$	0.3271
(L/s)	女	$-2.889-0.016\times A+0.053\times H$	0.4891
$\dot{V}_{50}$	男	$4.75-0.033\times A$	0.5222
(L/s)	女	$4.003-0.026\times A$	0.4996
$\dot{V}_{25}$	男	$-1.35-0.025\times A+0.030\times H-0.022\times W$	0.7743
(L/s)	女	$2.318-0.029\times A$	0.7120

注：A 代表年龄(岁)，H 代表身高(cm)，W 代表体重(kg)。

数肺功能测量值与年龄呈负相关。身高与肺功能测量值多呈正相关，体重对某些肺功能测量值有一定影响，但相关不密切。在《全国肺功能正常值汇编》中，各行政区均对所测的肺功能结果

进行了多元回归分析。在分析中,多数地区(华北、东北、重庆、成都和广东)将年龄、身高和体重作为自变量,有的地区还把性别(上海地区)和体表面积(西北地区)也视为自变量,加之其他原因,致使所得的回归方程差别较大。作为参考,本文只援引成都地区的 7 项主要肺功能测量值的多元回归分析结果(见表 10.3)。

6. 中国 7~22 岁汉族学生的肺活量

肺功能受年龄、身高和体重的影响,在年龄、身高、体重与肺功能的关系中,以年龄与肺功能的关系最密切,下面给出汉族学生的肺活量数据^[8]。从全国 7~22 岁汉族学生肺活量的均值和年增长值曲线(图 10.4,图 10.5,表 10.4)看出,男女学生肺活量的均值,均随着年龄的增长逐渐增长。7~22 岁,男生肺活量每年平均增长 194.2mL,女生平均增长 116.4mL。男生在 12~15 岁、女生在 10~12 岁(突增期)年增长幅度较大。男生肺活量每年平均增加 373.8mL,女生平均每年增加 210.5mL。各年龄组肺活量的均值始终是男生高于女生。女生 19 岁、男生 21 岁时肺活量的增长基本趋于稳定。

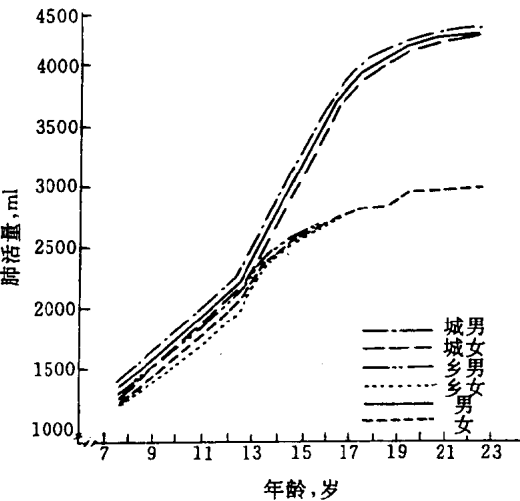


图 10.4 肺活量均值曲线

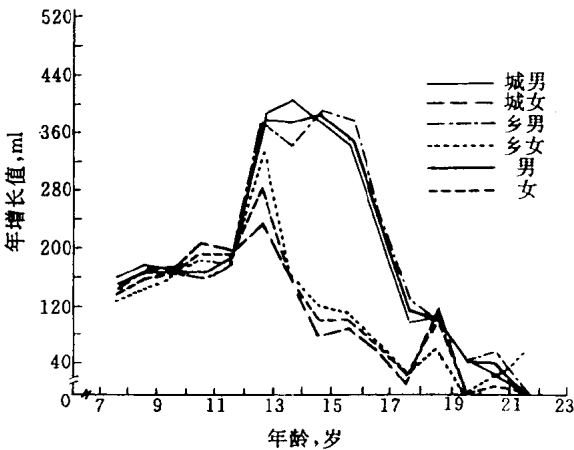


图 10.5 肺活量年增长值曲线

表 10.4 肺活量年增长值和年增长率

类别	性别	项目	年龄,岁							
			7	8	9	10	11	12	13	14
城市	男生	年增长值	162.79	182.18	175.49	172.37	197.80	388.43	408.17	377.49
		年增长率	11.70	11.70	10.10	9.00	9.50	17.00	15.30	12.30
	女生	年增长值	151.48	175.76	176.01	210.81	200.17	237.41	162.55	85.85
		年增长率	12.10	12.50	11.10	12.00	10.20	10.90	6.80	3.30
乡村	男生	年增长值	146.28	168.19	167.47	161.15	182.70	375.16	345.83	393.37
		年增长率	11.30	11.70	10.40	9.10	9.40	17.70	13.90	13.80
	女生	年增长值	129.94	149.48	161.78	184.94	187.34	334.91	165.95	121.64
		年增长率	11.10	11.50	11.20	11.50	10.40	16.90	7.20	5.00
全国 城乡 合并	男生	年增长值	154.51	175.18	171.46	166.77	190.23	381.81	377.00	385.40
		年增长率	11.50	11.70	10.30	9.00	9.50	17.40	14.60	13.00
	女生	年增长值	140.66	162.62	168.89	197.88	193.73	286.19	164.26	105.23
		年增长率	11.60	12.00	11.10	11.70	10.30	13.80	7.00	4.20

(续表)

类别	性别	项目	年龄,岁							
			15	16	17	18	19	20	21	22
城市	男生	年增长值	320.51	216.63	100.63	107.01	48.76	34.32	-2.55	-
		年增长率	9.30	5.70	2.50	2.60	1.20	0.80	-0.10	-
	女生	年增长值	93.27	62.82	16.60	123.46	4.41	9.17	-14.81	-
		年增长率	3.50	2.30	0.60	4.40	0.10	0.30	-0.50	-
乡村	男生	年增长值	381.52	239.58	136.39	105.83	45.92	60.21	11.96	-
		年增长率	11.80	6.60	3.50	2.70	1.10	1.50	0.30	-
	女生	年增长值	115.59	75.16	36.55	64.38	-3.95	25.52	61.16	-
		年增长率	4.40	2.80	1.30	2.30	-0.10	0.90	2.10	-
全国 城乡 合并	男生	年增长值	351.07	277.98	118.04	122.59	48.09	43.34	-0.30	-
		年增长率	10.50	6.20	3.00	3.00	1.20	1.00	0.00	-
	女生	年增长值	104.43	68.99	26.69	102.29	1.92	15.38	6.42	-
		年增长率	4.00	2.50	1.00	3.60	1.00	0.50	0.20	-

19~22岁组男女学生肺活量均值的地区比较见表10.5。肺活量均值最高的有北京市城市男、女学生(分别为4508mL和3142mL),江苏省乡村男生(4401mL),辽宁省乡村女生(3093mL)。最低的有广东省城市男生(3905mL)和乡村女生(2651mL),贵州省城市女生(2768mL),广西省乡村男生(3757mL)。

从肺活量的地区分布来看,除了西北各省外,北方各省市的肺活量值一般较高,尤其是华北及辽宁省。而南方各省市的肺活量均值一般较低。肺活量均值居中的省市,大致分布在淮河以南、长江流域各省。

7. 中国人某些呼吸生理参数与其他种族的比较

许多肺功能参数与年龄、身高和体重有关系,而且在不同种族间有一定差别。在计算剂量时应尽可能采用各民族或个体所特有的呼吸道参数。表10.6中给出几个国家某些呼吸参数。比较表10.2和表10.11可知,中国男性的TLC(5.91L)、FRC(3.21L)和VC(4.14L)均低于ICRP第66号出版物对工作人员推荐的TLC(6.98L)、FRC(3.30L)和VC(5.02L)的数值。

表 10.5 28省市(19~22)岁组学生肺活量均值比较(mL)

位次	城男		城女		乡男		乡女	
1	北京	4508	北京	3142	江苏	4401	辽宁	3093
2	天津	4469	江苏	3129	北京	4360	北京	3089
3	陕西	4462	河北	3073	甘肃	4345	吉林	3071
4	江苏	4421	陕西	3071	陕西	4328	内蒙古	3041
5	山东	4395	天津	3070	辽宁	4326	江苏	3030
6	辽宁	4393	山东	3065	天津	4313	陕西	3030
7	河北	4389	内蒙古	3059	内蒙古	4308	河北	3021
8	吉林	4389	辽宁	3054	河北	4291	湖北	2973
9	内蒙古	4339	湖北	3035	青海	4279	黑龙江	2970
10	河南	4334	河南	3025	新疆	4278	山东	2966
11	黑龙江	4306	云南	2996	宁夏	4260	河南	2951
12	宁夏	4305	浙江	2985	吉林	4242	甘肃	2926

(续表)								
位次	城男		城女		乡男		乡女	
13	湖北	4301	吉林	2977	河南	4221	天津	2906
14	安徽	4289	安徽	2971	山东	4208	福建	2897
15	浙江	4284	福建	2964	湖北	4208	青海	2895
16	新疆	4276	四川	2954	安徽	4196	安徽	2894
17	云南	4238	黑龙江	2923	黑龙江	4158	湖南	2885
18	青海	4232	湖南	2921	四川	4127	四川	2881
19	四川	4195	宁夏	2892	湖南	4091	宁夏	2881
20	甘肃	4181	甘肃	2871	浙江	4085	浙江	2879
21	湖南	4141	青海	2871	福建	4074	新疆	2875
22	福建	4097	山西	2861	云南	4058	云南	2853
23	山西	4068	新疆	2844	上海	4007	山西	2833
24	上海	4067	江西	2828	山西	4004	江西	2795
25	江西	4063	广东	2807	江西	3928	上海	2733
26	贵州	4039	上海	2801	贵州	3877	广西	2699
27	广西	3943	广西	2793	广东	3805	贵州	2676
28	广东	3905	贵州	2768	广西	3757	广东	2651
全国	4250		2956		4165		2917	
南方	4162		2922		4060		2851	
北方	4337		2987		4266		2976	

表 10.6 六个国家的某些呼吸参数¹⁾

	3 个月	1 岁	5 岁	10 岁	15 岁	成人	
						男	女
中国 ²⁾							
身高(cm)	62	76	107	136	166	170	160
体重(kg)	7.0	10.0	17	28	52	60	52
TLC(L)	—	—	—	—	—	5.91	4.38
FRC(L)	—	—	—	—	—	3.21	2.35
VC(L)	—	—	—	—	—	4.14	3.06
日本							
身高(cm)	62	74	—	133	—	170	158
体重(kg)	6.5	9	—	29	—	65	53
TLC(L)	—	—	—	—	—	5.60	3.90
FRC(L)	—	—	—	—	—	2.90	2.05
VC(L)	—	—	—	—	—	4.40	3.00
印度							
身高(cm)	—	—	—	—	—	167	151
体重(kg)	—	—	—	—	—	56	48
TLC(L)	—	—	—	—	—	—	—
FRC(L)	—	—	—	—	—	—	—
VC(L)	—	—	—	—	—	3.60	2.30
美国黑人							
身高(cm)	—	—	—	140	—	175	162
体重(kg)	—	—	—	38	—	80	70

注:1)已对数据进行了舍入,数据取自文献[4];2)本文数据。身高和体重数据取自文献[9]。

(续表)

	3 个月	1 岁	5 岁	10 岁	15 岁	成人	
						男	女
TLC(L)	—	—	—	—	—	—	—
FRC(L)	—	—	—	—	—	—	—
VC(L)	—	—	—	2.35	—	4.15	3.00
塞内加尔							
身高(cm)	—	—	108	136	164	177	165
体重(kg)	—	—	18	28	45	68	63
TLC(L)	—	—	—	—	—	—	—
FRC(L)	—	—	—	—	—	—	—
VC(L)	—	—	0.82	1.70	2.85	4.20	3.00
津巴布韦							
身高(cm)	—	—	—	—	—	171	161
体重(kg)	—	—	—	—	—	64	64
TLC(L)	—	—	—	—	—	—	—
FRC(L)	—	—	—	—	—	—	—
VC(L)	—	—	—	—	—	3.95	3.00

三、ICRP 参考人呼吸道模型^[4]

ICRP(1994 年)参考人呼吸道剂量学模型由 6 部分组成:①形态度量学模型;②生理学参数;③辐射生物学考虑;④沉积模型;⑤廓清模型;⑥剂量计算。

1. 形态度量学模型

供剂量学研究用的人呼吸道形态模型将呼吸道分为 4 个解剖区(见图 10.6):

①胸腔外区(extrathoracic region, ET),包括前鼻通道(anterior nose, ET₁),后鼻通道(posterior nasal passages),口腔、咽、喉(ET₂);②支气管区(bronchial region, BB),包括气管和支气管(导气管分段 0~8),沉积的物质靠纤毛运动由此被廓清出去;③细支气管区(bronchiolar region, bb),包括细支气管和终末细支气管(导气管分段 9~15);④肺泡-间质区(alveolar-interstitial region, AI),包括呼吸细支气管,肺泡小管,带有小泡的小囊和间质结缔组织(导气管分段 16~26)。所有四个区都含有淋巴组织(LN):LN_{ET}负责排出 ET 区物质, LN_{TH}负责排出 BB、bb 和 AI 区物质。气管支气管树及细胞-间质区的尺寸模型分别在表 10.7 和表 10.8 中给出。

表 10.7 成年男性气管支气管树的尺寸大小模型¹⁾

区	分级	直径 ²⁾ ,m	长度 ²⁾ ,m
支气管区(BB)	0 气管	1.65×10^{-2}	9.1×10^{-2}
	1 主支气管	1.20×10^{-2}	3.8×10^{-2}
	2	0.85×10^{-2}	1.5×10^{-2}
	3	0.61×10^{-2}	0.83×10^{-2}
	4	0.44×10^{-2}	0.90×10^{-2}
	5	0.36×10^{-2}	0.81×10^{-2}
	6	0.29×10^{-2}	0.66×10^{-2}
	7	0.24×10^{-2}	0.60×10^{-2}
	8	0.20×10^{-2}	0.53×10^{-2}

(续表)

区	分级	直径 ²⁾ ,m	长度 ²⁾ ,m
细支气管区(bb)	9 细支气管	0.1651×10^{-2}	0.4367×10^{-2}
	10	0.1348×10^{-2}	0.3620×10^{-2}
	11	0.1092×10^{-2}	0.3009×10^{-2}
	12	0.0882×10^{-2}	0.2500×10^{-2}
	13	0.0720×10^{-2}	0.2069×10^{-2}
	14	0.0603×10^{-2}	0.1700×10^{-2}
	15 终末细支气管	0.0533×10^{-2}	0.1380×10^{-2}

注:1)Weibel (1963)、Yeh 和 Schum(1980)及 Phalen 等(1985)测量发表的成人气道尺寸大小有很大差别。哪一套数据更适用于参考人也并不明显,因此,将所有数值调整到标准 FRC($3.3 \times 10^{-3} \text{m}^3$)后,将三个来源的数据平均。
2)这些数值用作参考值,据此推算组织质量。

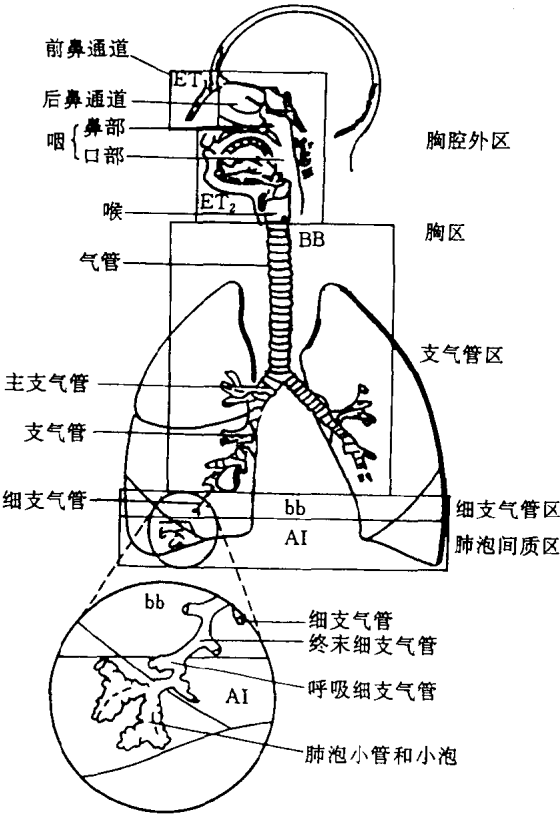


图 10.6 呼吸道解剖学分区

表 10.8 肺泡-间质区尺寸大小模型¹⁾
(根据 Hansen 和 Ampagal975 的数据计算而来)

肺泡分级	气道数, N	直径, m	长度, m
0 终末细支气管 ²⁾	1	—	—
1 呼吸细支气管	2	5.1×10^{-4}	1.1×10^{-3}
2 呼吸细支气管	4	4.6×10^{-4}	9.2×10^{-4}
3 呼吸细支气管	8	4.1×10^{-4}	7.6×10^{-4}

(续表)

肺泡分级	气道数, N	直径, m	长度, m
4 肺泡小管	19	3.8×10^{-4}	6.3×10^{-4}
5 肺泡小管	45	3.5×10^{-4}	5.2×10^{-4}
6 肺泡小管	108	3.3×10^{-4}	4.3×10^{-4}
7 肺泡小管	254	3.1×10^{-4}	3.6×10^{-4}
8 肺泡小管	374	3.0×10^{-4}	3.0×10^{-4}
9 肺泡小管	366	3.9×10^{-4}	2.1×10^{-4}
10 肺泡小管	146	2.8×10^{-4}	2.1×10^{-4}
11 肺泡小管	58	2.8×10^{-4}	1.7×10^{-4}

注:1)换算到正常 FRC 值 $3.3 \times 10^{-3} m^3$;2)气管支气管气道模型的终末细支气管(第 15 级)。肺泡间质区包括呼吸细支气管和肺泡小管,近似分级为 16~26 级。

为了剂量计算目的,对于参考工作人员和选定的公众成员的上述解剖学分区指定了形态学和细胞学参数(尺寸大小),选定公众成员的年龄分组为:3 个月,1,5,10,15 岁和成年人。4 个分区中的敏感靶细胞是:ET 区的上皮基底细胞,BB 区的基底细胞和分泌细胞,bb 区的分泌细胞(Clara 细胞),AI 区的分泌细胞(Clara 细胞)和Ⅱ型肺泡细胞。靶组织的有关参数(假定对所有人均一样)列于表 10.9^[4]。不同年龄组人员靶组织质量列于表 10.10^[4]。

表 10.9 靶组织的参数

组织	靶细胞	粘液厚度, μm	上皮厚度, μm	靶细胞核深度, μm
ET ₁	基底细胞	—	50	40~50
ET ₂	基底细胞	15	50	40~50
BB _{sec} ¹⁾	分泌细胞	5	55	10~40
BB _{bas} ²⁾	基底细胞	5	55	35~50
bb	分泌细胞	2	15	4~12
AI	Clara 细胞和 Ⅱ型肺泡细胞	—	—	—
LN _{ET} 和 LN _{TH}	淋巴细胞、内皮和生发中心细胞	—	—	—

注:1)BB_{sec}是指分泌细胞核所分布的支气管上皮的那一部分;2)BB_{bas}则是指基底细胞核所分布的部分。

表 10.10 不同年龄组人员靶组织的质量(kg)

人员	ET ₁	ET ₂	BB _{sec}	BB _{bas}	bb	AI ¹⁾	LN _{ET} ²⁾	LN _{TH} ²⁾
成人(男)	2.0×10^{-5}	4.5×10^{-4}	8.6×10^{-4}	4.3×10^{-4}	1.9×10^{-3}	1.1	1.5×10^{-2}	1.5×10^{-2}
成人(女)	1.7×10^{-5}	3.9×10^{-4}	7.8×10^{-4}	3.9×10^{-4}	1.9×10^{-3}	0.90	1.2×10^{-2}	1.2×10^{-2}
15 岁(男)	1.9×10^{-5}	4.2×10^{-4}	8.2×10^{-4}	4.1×10^{-4}	1.8×10^{-3}	0.86	1.2×10^{-2}	1.2×10^{-2}
15 岁(女)	1.7×10^{-5}	3.8×10^{-4}	7.6×10^{-4}	3.8×10^{-4}	1.6×10^{-3}	0.80	1.1×10^{-2}	1.1×10^{-2}
10 岁	1.3×10^{-5}	2.8×10^{-4}	6.2×10^{-4}	3.1×10^{-4}	1.3×10^{-3}	0.50	6.8×10^{-3}	6.8×10^{-3}
5 岁	8.3×10^{-6}	1.9×10^{-4}	4.7×10^{-4}	2.3×10^{-4}	9.5×10^{-4}	0.30	4.1×10^{-3}	4.1×10^{-3}
1 岁	4.1×10^{-6}	9.3×10^{-5}	3.1×10^{-4}	1.6×10^{-4}	6.0×10^{-3}	0.15	2.1×10^{-3}	2.1×10^{-3}
3 个月	2.8×10^{-6}	6.3×10^{-5}	2.5×10^{-4}	1.3×10^{-4}	5.0×10^{-4}	0.09	1.2×10^{-3}	1.2×10^{-3}

注:1)包括血液,不包括淋巴结;2)假定胸腔外区和胸区中淋巴组织的质量相等。

2. 生理学参数

呼吸道组织和细胞所受的剂量与呼吸特点和某些生理参数有关,因为它们影响吸入空气的体积、速率、通过鼻和口吸入的份数,因而决定了吸入放射性粒子和气体的数量。呼吸特点和生理参数在不同种族人群中变化颇大,它们随身材大小、体力活动的轻重、呼吸道的健康状况以及是否吸烟而变化。在 ICRP1994 年呼吸道模型中,给出了有代表性民族的男女两性、不同年龄和不同体力活动的有关数据。此模型选择有代表性的工作着的白种人(男性和女性)代表工作人员;选择所有年龄的不处于工作状态的男女白种人代表公众成员。为了评价个体受照剂量,建议在此模型中采用该个体所特有的呼吸道参数,并要考虑其受照情况(工作时还是休息时受照等)。工作人员的参考呼吸数值、换气率及不同状态下吸入空气的体积分别列入表 10.11 至表 10.13。

表 10.11 工作人员的参考呼吸数值¹⁾

肺体积, L	
肺总量(TLC)	6.98
功能残气量(FRC)	3.30
肺活量(VC)	5.02
死腔(V_D)	0.146

1) 白种人, 男性, 30 岁, 身高 176cm, 体重 73kg。是根据 ICRP 参考人数据推导而来。

表 10.12 工作人员的换气率

活动状态	换气率, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
睡觉	0.45(7.5) ¹⁾
休息、坐	0.54(9.0)
轻体力劳动	1.5(25)
重体力劳动	3.0(50)

1) 括号内数据以 $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 为单位。

表 10.13 工作人员不同情况下吸入空气的体积(m^3)

活动状态	轻体力劳动	重体力劳动
睡觉时间(8h)	3.6	3.6
工作时间(8h)	9.6 ¹⁾	13.5 ²⁾
业余时间 ³⁾ (8h)	9.7	9.7
合计 24h	23	27

注: 1) 5.5h 轻体力劳动 + 2.5h 休息、坐; 2) 7h 轻体力劳动 + 1h 重体力劳动; 3) 4h 休息、坐 + 3h 轻体力劳动 + 1h 重体力劳动。

普通白种人群的呼吸参数的参考值在表 10.14, 表 10.15 中给出。这些数值用于计算公众成员单位摄入量产生的剂量。

表 10.14 普通白种人群的参考身材及呼吸参数值

	3 个月	1 岁	5 岁	10 岁	15 岁		成人	
					男性	女性	男性	女性
身高(cm)	60	75	110	138	169	161	176	163
体重(kg)	6	10	20	33	57	53	73	60
TLC(L)	0.28	0.55	1.55	2.87	5.43	4.47	6.98	4.97
FRC(L)	0.148	0.244	0.767	1.484	2.677	2.325	3.30	2.68
VC(L)	0.20	0.38	1.01	2.33	3.96	3.30	5.02	3.55
V_D (L)	0.014	0.020	0.046	0.078	0.130	0.114	0.146	0.124

表 10.15 普通白种人群于不同年龄不同状态的参考呼吸参数值¹⁾

年龄	性别	休息(睡觉)			坐(醒着)		
		V_T , L	B, $m^3 \cdot h^{-1}$	f_R , min^{-1}	V_T , L	B, $m^3 \cdot h^{-1}$	f_R , min^{-1}
3个月		0.39	0.09	38	N/A ²⁾	N/A	N/A
1岁		0.074	0.15	34	0.102	0.22	36
5岁		0.174	0.24	23	0.213	0.32	25
10岁	男	0.304	0.31	17	0.333	0.38	19
	女						
15岁	男	0.500	0.42	14	0.533	0.48	15
	女	0.417	0.35	14	0.417	0.40	16
成人	男	0.625	0.45	12	0.750	0.54	12
	女	0.444	0.32	12	0.464	0.39	14
年龄	性别	轻体力劳动			重体力劳动		
		V_T , L	B, $m^3 \cdot h^{-1}$	f_R , min^{-1}	V_T , L	B, $m^3 \cdot h^{-1}$	f_R , min^{-1}
3个月		0.066	0.19	48	N/A	N/A	N/A
1岁		0.127	0.35	46	N/A	N/A	N/A
5岁		0.244	0.57	39	N/A	N/A	N/A
10岁	男	0.583	1.12	32	0.841	2.22	44
	女				0.667	1.84	46
15岁	男	1.0	1.38	23	1.352	2.92	36
	女	0.903	1.30	24	1.127	2.57	38
成人	男	1.25	1.5	20	1.923	3.0	26
	女	0.992	1.25	21	1.364	2.7	33

注:1) V_T 为潮气体积,B为换气率, f_R 呼吸频率;2)N/A为不适用。

3. 辐射生物学考虑

从辐射防护的角度考虑,辐射在呼吸道引起的有害效应主要是癌症。

考虑到各区辐射敏感性的不同,新呼吸道模型给出了各区的危害权重因子A(用各区在组织权重因子 W_T 中所占份额来表示)。在ET区中,对ET₁、ET₂和淋巴组织分配的危害权重因子分别为0.001、0.998和0.001。胸区危害的分配考虑了4部分,在缺乏关于胸区中组织相对敏感性的更为合适的定量资料的情况下,ICRP推荐,对BB、bb和AI区的危害权重因子均为0.333,对该区的淋巴系统与ET区一样,权重因子也等于0.001。呼吸道组织的危害权重因子在表10.16中给出,用这些权重因子加权求和,即可得到呼吸道各分区的危害加权当量剂量。

表 10.16 呼吸道各组织的危害权重因子A

组 织	A(占组织权重因子的份额)
胸腔外区	
ET ₁ (前鼻)	0.001
ET ₂ (后鼻通道,咽,喉和口腔)	0.998
LN _{ET} (淋巴组织)	0.001
胸区	
BB(支气管)	0.333
bb(细支气管)	0.333
AI(肺泡-间质)	0.333
LN _{TH} (淋巴组织)	0.001

4. 沉积模型

ICRP1994 年呼吸道模型的沉积和廓清模型可用下列几个库表示,见图 10.7。

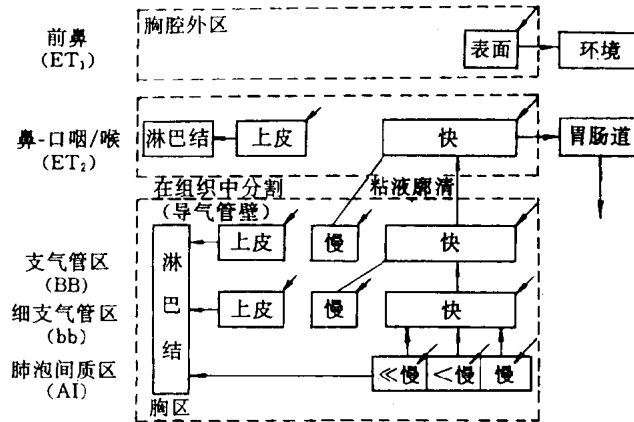


图 10.7 吸入粒子沉积和廓清的呼吸道库室模型

图中方向左下的斜箭头表示沉积,其余箭头表示廓清(详见图 10.10),“快”和“慢”分别表示快廓清和慢廓清。胸腔外区包括两个直接廓清的解剖学区,即 ET_1 区和 ET_2 区;沉积在胸腔区的放射性物质将分配在 BB 和 bb 区以及 AI 区,沉积在 AI 区的物质又分配在三个亚库室, AI_1 、 AI_2 和 AI_3 。对于受到活度中值空气动力学直径 AMAD 为 $5\mu\text{m}$ 气溶胶的职业照射的参考工作人员(轻体力劳动)来说,粒子在各区的沉积数值列于表 10.17。粒子在参考工作人员呼吸道各区中的沉积份额(用占吸入空气中放射性活度的百分数表示)随粒子 AMAD 和 AMTD (活度中值热力学直径)的变化在图 10.8 中给出。

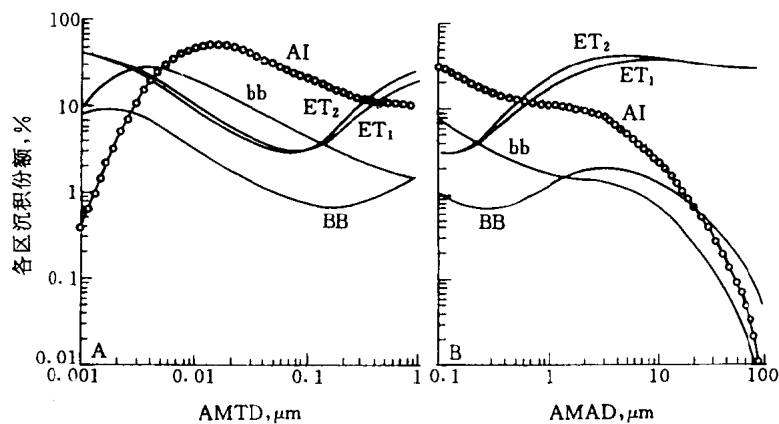


图 10.8 参考工作人员(正常鼻呼吸者)呼吸道各区间的沉积份额

假定空气中气溶胶的放射性活度随粒子大小呈对数正态分布,

粒子密度为 $3.00\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,形状因子为 1.5。

表 10.17 职业照射和环境暴露情况下吸入气溶胶的沉积份额

区	工作人员, % ¹⁾	男性成员, % ²⁾
ET ₁	33.9	14.2
ET ₂	39.9	17.9
BB	1.8	1.1
bb	1.1	2.1
AI	5.3	11.9
总计	82.0	47.2

注:1)职业照射,AMAD 为 $5\mu\text{m}(\sigma_g=2.5)$,AMTD= $3.5\mu\text{m}$,密度为 $3\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,形状因子为 1.5;通过鼻吸入份额为 1;69%轻体力劳动,31%为坐势;平均换气率为 $1.5\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 。2)环境暴露(住宅室内),AMAD= $1\mu\text{m}(\sigma_g=2.47)$,AMTD= $0.69\mu\text{m}$,密度为 $3\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$,形状因子为 1.5,通过鼻吸入份额为 1;55%为睡觉,30%为轻体力劳动,15%为坐势;平均换气率为 $0.78\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 。

5. 廓清模型

沉积在呼吸道中的物质主要靠下述三个途径廓清:吸收入血;通过吞咽进入胃肠道;通过

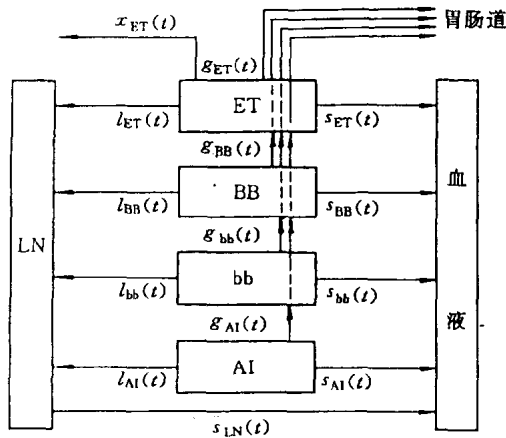


图 10.9 物质从呼吸道的廓清途径

$S_i(t)$:从 i 区向血液的吸收速率;
 $g_i(t)$:粒子向胃肠道的转移速率;
 $l_i(t)$:粒子向淋巴结的转移速率;
 $x_{ET}(t)$ 从 ET 区因外来作用产生的廓清速率。

淋巴管进入各区淋巴结,(见图 10.9)。

粒子的转移过程是指物质由呼吸道向胃肠道、淋巴结和由呼吸道的一部分向另一部分的转移。粒子的转移过程与吸收入血的过程是相互竞争的两个过程。不同物质被血液吸收的速率差别很大。ICRP1994 年呼吸道模型将吸入物质分为 F、M 和 S 三类,它们分别相应于 ICRP 第 30 号出版物中 D、W 和 Y 类化合物。D、W 和 Y 类化合物是根据从肺中的总廓清来分类的,而 ICRP 第 66 号出版物只是根据化合物被血液吸收的速率来划分 F、M 和 S 类物质的。F 类物质是指快速被血液吸收的物质,快速溶解速率 $S_r=100\text{d}^{-1}$,半减期 $t_{1/2}$ 近似为 10min (100%);M 类物质,指具有中等吸收速率常数的物质,对这类物质来说,快速吸收份额 f_r 约为

10%, 快速溶解速率 $S_r = 100\text{d}^{-1}$, 慢速溶解速率 $S_s = 0.005\text{d}^{-1}$, 半减期有两项, 100min (占 10%) 和 140d (占 90%); S 类物质, 指相对难溶的物质, 假定对于大部分这类物质, 被血液吸收的速率 S_a 为 0.0001d^{-1} , 半减期 $t_{1/2}$ 近似为 7000d (占 99.9%)。

图 10.10 为粒子转移的库室模型。每个库室右下角的阿拉伯数字为该库室的序号, 箭头旁边的数字为粒子的转移速率常数, 单位用 d^{-1} 表示, 这些数值列于表 10.18。

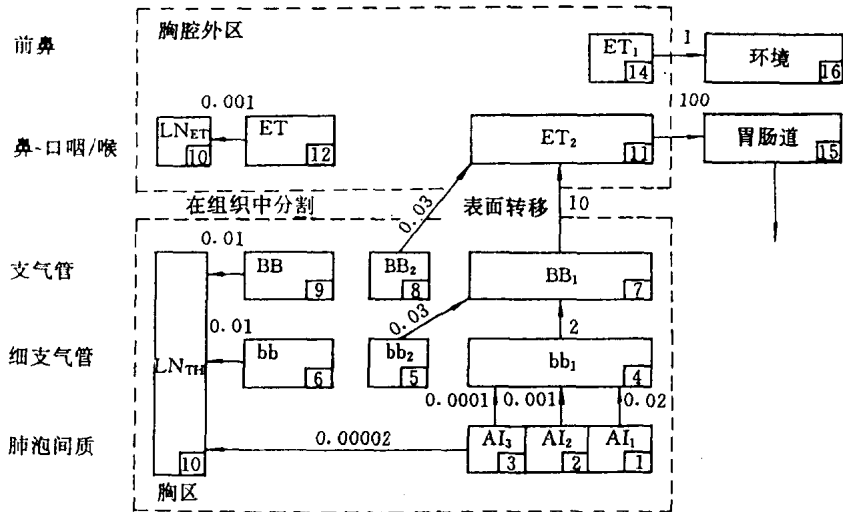


图 10.10 粒子在呼吸道各区间转移的库室模型

表 10.18 粒子在人呼吸道内的时间依赖转移速率常数的参考值

方向	从	到	速率常数, d^{-1}	半转移期 *
$m_{1,4}$	AI_1	bb_1	0.02	35d
$m_{2,4}$	AI_2	bb_1	0.001	700d
$m_{3,4}$	AI_3	bb_1	0.0001	7000d
$m_{3,10}$	AI_3	LN_{TH}	0.00002	—
$m_{4,7}$	bb_1	BB_1	2	8h
$m_{5,7}$	bb_2	BB_1	0.03	23d
$m_{6,10}$	bb_{seq}	LN_{TH}	0.01	70d
$m_{7,11}$	BB_1	ET_2	10	100min
$m_{8,11}$	BB_2	ET_2	0.03	23d
$m_{9,10}$	BB_{seq}	LN_{TH}	0.01	70d
$m_{11,15}$	ET_2	胃肠道	100	10min
$m_{12,13}$	ET_{seq}	LN_{ET}	0.001	700d
$m_{14,16}$	ET_1	环境	1	17h

注：* 半转移期的近似值，它是针对粒子转移速率常数的，并进行了 4 舍 5 入。

6. 剂量计算

用危害加权的当量剂量乘以靶组织自己的组织权重因子 (BB、bb 和 AI 区组织的 W_T 各为

0.04, LN_{TH} 组织为 0.00012, ET 区组织归入其余组织)可求出该组织的用 W_T 加权的当量剂量,与全身其他所有有关靶组织的用 W_T 加权的当量剂量相加,即可求得有效剂量或待积有效剂量。

(周永增)

参 考 文 献

- 1 穆魁津,刘世琬主编.全国肺功能正常值汇编.北京:北京医科大学、中国协和医科大学联合出版社,1990
- 2 ICRP. ICRP Publication 2. Report of committee II on permissible dose for internal radiation, Oxford; Pergamon Press, 1959
- 3 ICRP. ICRP Publication 30. Limits for intakes of radionuclides by workers. Part I. Oxford; Pergamon Press, 1979
- 4 ICRP. ICRP Publication 66. Human respiratory tract model for radiological protection. Oxford; Pergamon Press, 1994
- 5 穆魁津,林有华主编.肺功能测定原理与临床应用.北京:北京医科大学、中国协和医科大学联合出版社,1992
- 6 吴绍清,李华德,萨藤三编著.肺功能测验在临床上的应用.上海:上海科学技术出版社,1962
- 7 朱贵卿主编.呼吸内科学.北京:人民卫生出版社,1984
- 8 中华人民共和国国家教育委员会,中华人民共和国体育运动委员会,中华人民共和国卫生部,中华人民共和国国家民族事务委员会,中国学生体质与健康研究组.中国学生体质与健康研究.北京:人民教育出版社,1988. 132
- 9 王继先,李本孝,徐钧,等.中国人身高、体重参考值.中华放射医学与防护杂志, 1993, 13: 3

第十一章 中国正常人器官组织内的元素含量

一、引言

人体内微量元素研究是一门新兴的学科,它涉及到生物无机化学、营养学、环境卫生学、劳动卫生学、毒理学、临床医学以及辐射防护学等不同的学科领域。随着原子吸收、发射光谱和中子活化分析等先进微量分析技术的发展,使得这一门学科近年来有了重大进展。

开展这一门学科的研究,其科学价值是显而易见的,主要目的可有以下几个方面:①体内微量元素含量与健康密切相关,不仅对阐明体内某些重要的生物学作用可取得突破性进展,同时对防治某些疾病来说是至关重要的因素;②体内元素含量在一定程度上反映了环境介质乃至环境污染的情况,为环境安全评价和卫生防护提供重要依据;③在辐射防护领域中,为进行放射性核素内照射剂量估算及确定核素年摄入量限值,必须要了解人体内元素含量及其分布特征等重要参数;④为建立中国参考人的人体模型,需要寻找合适的组织等效材料,而体内器官组织中各种元素含量也是必不可少的重要参数;⑤国际放射防护委员会(ICRP)近期将对用于制定辐射防护标准的第23号出版物进行修订,亟待要列入包括中国、日本在内的亚洲参考人参数,故需要提供国人体内元素含量的数值。因此,体内元素含量的检测研究,不仅将会充实我国基础医学数据库,为评价体内元素含量与疾病关系提供科学依据,同时,也将为辐射防护领域中的内照射剂量估算提供重要参数,也将为修订ICRP参考人参数提供我国的相关资料。

二、元素含量检测的重要性

就生物医学与卫生防护而言,开展人体内元素含量的检测研究尤其显得重要,本章仅就这两方面概述其重要性。

1. 生物医学中的元素研究^[1]

有关生物医学中元素研究的资料已有大量报道,随着测试技术的迅速发展,不仅提高了测试方法的灵敏度和精确度,也可直接测定体液、组织、细胞以及亚细胞内的元素浓度及其分布规律,从而为深入探讨元素的生物学作用奠定了基础。目前已取得的结论可有以下几个方面。

(1)在各种酶系统中起催化作用 现已确认Fe(细胞色素氧化酶、过氧化物酶)、Cu(细胞色素氧化酶、酪氨酸酶)、Zn(碳酸酐酶、羧肽酶)、Mn(超氧化物歧化酶、丙酮酸脱羧酶)、Mo(硝酸还原酶)、Se(谷胱甘肽氧化物酶)等都是特殊酶的必需成分,有了这类元素的结合,这些酶方能起催化作用。

(2)是激素、维生素或具有特殊功能的蛋白质的必需成分 例如碘与甲状腺原氨酸结合,形成具有激素活性的甲状腺素;铬是糖耐量因子必需成分,作为胰岛素的辅助因子起作用;还有含铁血红蛋白,含铁的细胞色素和含锌唾液蛋白等,皆为人体内有重要生物活性的蛋白质。

(3)微量元素对免疫机能的影响,可以有两个方面 一是有害元素对机体免疫机能的抑

制,如 Cd,Pb,Hg,As 等都有增加机体对病毒及细菌易感性的作用,抑制抗体产生,Pb 又可直接抑制细胞免疫反应,从而减低了机体的免疫机能。另一是必需微量元素与免疫机能的关系,如当体内 Fe,Zn,Mn,Cu,Mg,Se 缺乏时,免疫器官就萎缩,体液免疫和细胞免疫低下。其中尤以缺锌时,淋巴细胞总数减少,以 T_4 细胞减少最为明显,还可造成体外淋巴细胞对有丝分裂原及抗原刺激后的增殖反应降低,体内抗肿瘤应答中 T 细胞杀伤力降低,NK 细胞活性和 ADCC (抗体依赖细胞介导的细胞毒)作用降低或增加等。

(4)微量元素与出生缺陷的关系 微量元素缺乏或过多可导致各种出生缺陷。有关动物实验和流行病学调查资料证实,某些微量元素有致畸或致胚胎死亡作用,其中 Al,Hg,Tl,Se 已有对人类致畸的报道。另外,若体内缺乏必需的微量元素 Zn,Cu,Mn,Fe,I 等也可导致生殖力低下及出生缺陷,包括胚胎死亡、子代发育障碍以及子代畸形发生率增高等。

(5)微量元素对肿瘤发生的影响 国际癌症研究机构(IARC)曾对 51 种化学物质在职业环境暴露下对人类致癌的危险性进行过评议,包括流行病学调查、动物实验及短测试验等三个方面,按 3 个等级区分其致癌的危险性。结果表明,As,Cr 及其某些化合物为 I 级,表示致癌证据充分,接触这类化合物与人类癌症有因果关系;Ni,Be,Cd 及其某些化合物分别列为 2A 或 2B 级,表示证据不够充分,对人类可能有致癌作用,但尚不能证明其因果关系;Pb 及其某些化合物列为 3 级,表示证据不足,现有研究资料不足以得出致癌危险性的结论。此外,近年来肿瘤病因学研究中,对某些微量元素的抗癌作用已日益引起人们关注,其中如 Se,Zn,Cu,Mn,Mo,Fe 等体内必需的微量元素,在抗癌作用中除了各自的特殊作用(如抗脂质过氧化、阻断过氧化物生成、降低去甲基化酶的活性等),在预防或消除自由基的损伤过程中都可发挥相辅相成的作用。

(6)微量元素缺乏症和中毒症 人类或哺乳动物由于对某些必需元素摄入量不足,或元素的化学状态不能被机体所利用,就可导致缺乏症;这些元素常见有 Zn,Cu,Mn,Fe,Se,Co,Mo,I 等,其中最为明显的是 Se 的缺乏症,例如我国东北、西南等 16 个省区克山病流行就是缺 Se 的突出例子,显然这与土壤饲料中含 Se 量低直接相关。一般认为土壤含 Se 量低于 0.5×10^{-6} 、饲料中含 Se 量低于 0.1×10^{-6} 时,动物就可能发病。为此,我国在克山病流行地区,人群直接服用 Se 的亚硝酸钠制剂,以预防克山病的发生。在缺碘地区,为防止缺碘引起甲状腺肿,推广居民食用含碘食盐。另外,若对某些非必需元素摄入量过多,就可引起机体中毒症,例如在日本,因汞(尤其是甲基汞)的环境污染严重,造成先天性水俣病的高发,出生儿童多见精神迟钝和智力发育障碍;而铅工业中铅的污染,可使女工早产或婴儿死亡率增高,直接影响胎儿脑发育。

2. 元素含量值在卫生防护中的应用^[2~5]

为控制人体内元素含量,各国政府和学术机构曾多次规定一些重要元素的摄入量及食品中元素含量的容许标准(如元素的膳食供给量 RDA 和每日容许摄入量 ADI 等)。1989 年美国食品与营养委员会等机构曾推荐不同年龄人员每日膳食中元素(Ca,P,Mg,Fe,Zn,I,Se,Cu,Mn,F,Cr,Mo)的供给量和摄入量。与此先后,德国、澳大利亚、法国、英国、前苏联与日本等国家也曾对 Ca,Fe,Mg 等元素推荐了每日膳食中的摄入量。在我国,1988 年中国营养学会曾推荐 14 个年龄组及不同等级的劳动强度的每日膳食中 Ca,Fe,Zn,Se,I 和 Mg,Cu,Mn,F,Cr,Mo,Na,K,Cl 等 14 个元素的供给量和摄入量,此外,我国还先后制订了各类食品中 Pb,Hg,Cu,Zn,Sn,Cd,Se,Fe,Mn 及 Ni 的限量卫生标准,作为国家标准先后于 1981~1991 年发布执

行。1985年和1987年,我国又先后规定了生活饮用水和天然矿泉水中某些元素的限量指标。为适应辐射防护工作的需要,中国医学科学院放射医学研究所通过结合全国膳食调查,于1996年系统的提出了5种重金属元素,12种微量元素,8种常量元素以及具有辐射防护意义的7种重要元素(Sr,Cs,I,Ba,La,Ce,Co)的膳食来源、每日摄入量及总摄入量等(详见第八章的内容)。这是因为人体对放射性核素的摄入量不但取决于膳食组成及各类食品的放射性核素浓度,还与其稳定同位素的浓度有关。上述这些摄入量与容许标准,对控制体内元素含量,评价元素含量与疾病发生相关起重要的作用。

表 11.1 元素的体内总含量

元素	总含量,g	占体重百分比
氧	43000	61
碳	16000	23
氢	7000	10
氮	1800	2.6
钙	1000	1.4
磷	780	1.1
硫	140	0.20
钾	140	0.20
钠	100	0.14
氯	95	0.12
镁	19	0.027
硅	18	0.026
铁	4.2	0.006
氟	2.6	0.0037
锌	2.3	0.0033
铷	0.32	4.6×10^{-4}
锶	0.32	4.6×10^{-4}
溴	0.20	2.9×10^{-4}
铅	0.12	1.7×10^{-4}
铜	0.072	1.0×10^{-4}
铝	0.061	9×10^{-5}
镉	0.050	7×10^{-5}
硼	<0.048	7×10^{-5}
钡	0.022	3×10^{-5}
锡	<0.017	2×10^{-5}
锰	0.012	2×10^{-5}
碘	0.013	2×10^{-5}
镍	0.010	1×10^{-5}
金	<0.010	1×10^{-5}
钨	0.0093	1×10^{-5}
铬	0.0018	3×10^{-6}
铯	0.0015	2×10^{-6}
钴	0.0015	2×10^{-6}
铀	9×10^{-5}	1×10^{-7}
铍	3.6×10^{-5}	
镭	3.1×10^{-11}	

注:引自 ICRP 第 23 号出版物(1975)。

为了估算放射性核素所致内照射剂量或推定相应的导出限值(如年容许摄入量 ALI)都需要依据 ICRP 参考人的有关参数,除了解剖学参数外,更重要的是有关生理、代谢参数,其中包括元素含量等参数。早在 1959 年,ICRP 就在内照射容许的第 2 号出版物中列出了标准人体内的元素分布值,包括 46 种元素的近似体含量及占体重量的百分比,当时还提出了标准人 37 个器官组织中 40 种元素的浓度值。这些数值主要取自西欧、北美人的尸检资料。1975 年,ICRP 在参考人专题报告的第 23 号出版物中,又提出了参考人体内 36 种元素的体含量及占体重量的百分比(表 11.1 所示)。与 ICRP 第 2 号出版物相比,除了 H,K,Zn 等元素的数值不变外,其它大部分元素的数值多少有了改变。在该出版物中,还提出了 51 种元素在 114 个器官组织中的含量,不仅元素数量有增多,而且被分析的器官组织也愈益增多。这些数值大多取自 150 例西欧北美成年人事故急死者尸检样品直接分析的结果,也就是 1970 年前后美国田纳西大学和国立橡树岭研究所进行的工作。这些元素的体含量值范围波动于 $10^4 \sim 10^{-15}$ 间,其中构成机体成分的元素如以含量计,则 O,C,H,N 居最高,次为体内常量元素 Ca,P,K,Na,S 等,而含量最低的元素为 Ra,Ba,U,Co,Cs,Cr 等。按 ICRP 第 23 号出版物所推荐各器官组织的重量,就可得出各器官组织的元素浓度值($\mu\text{g/g}$ 湿重),表 11.2 列出了 ICRP 参考人主要器官组织中 15 种元素的浓度值。为此,由 IAEA 资助,于 1988~1993 年间开展了亚太地区的“亚洲参考人编制——亚洲正常人解剖、生理和代谢特征参数研究”的协作研究项目(即 IAEA-CRP 第一阶段工作计划),并于 1993 年总结了包括身高、体重、器官重量、肺功能以及食品中放射性核素和元素含量及其摄入量等在内的亚洲参考人参数,而有关器官组织内元素组成的资料,除我国报告了中国正常成年人 16 个脏器组织中 15 种元素的检测结果外,其它亚洲地区国家少有报道。鉴于人体元素含量值实际应用的价值,而以往亚洲各国因条件所限较少开展这方面工作,IAEA 为推动元素检测的研究,于 1995 年提出了 IAEA-CRP 第二阶段工作计划^[7],开展辐射防护中重要元素的摄入量和器官含量的研究,检测元素主要是 I,Cs,Sr,U 及 Th,同时争取检测 K,Na,Ca,Mg(常量元素),Zn,Cu,Mn,Fe,Se(微量元素)及 Cd,Hg,Pb(有害元素)等元素;检测的器官主要是甲状腺、肌肉、肝、肾、骨及肺等。该项研究计划主要由中国医科院放射医学所和中国辐射防护研究院承担,并与北京医科大学及中国原子能研究院等单位协作进行。

表 11.2 ICRP 第 23 号出版物中参考人器官和组织中元素浓度值

器官 组织	元素, $\mu\text{g/g}$ 湿重						
	Zn	Cu	Mn	Fe	Cr	Ni	Co
胃	18.67	1.67	0.306	28.67	0.014	0.041	0.016
大肠	19.46	1.30	0.594	20.00	0.027	0.118	0.014
小肠	18.75	1.56	0.546	26.56	0.020	0.055	0.017
心	25.45	3.33	0.200	45.45	0.016	0.048	0.030
肝	47.22	6.67	1.388	177.8	0.009	0.067	0.061
脾	17.77	1.22	0.128	272.2	0.072	0.072	0.035
肺	11.00	1.20	0.120	360.0	0.090	0.047	0.020
肾	48.39	2.90	0.903	74.19	0.010	0.055	0.013
骨 ¹⁾	48.00	0.72	0.520	81.00	0.480	0.500	0.028
脑	12.14	5.79	0.278	52.86	0.003	0.079	0.032
胸腺	6.50	0.70	0.090	11.00	0.009	0.022	0.009
胰腺	25.00	1.50	1.100	39.00	0.018	0.060	0.024
肾上腺	7.86	1.07	0.717	37.14	0.050	0.036	0.014

(续表)

器官 组织	元素, $\mu\text{g/g}$ 湿重						
	Zn	Cu	Mn	Fe	Cr	Ni	Co
甲状腺	31.00	1.10	0.200	55.00	0.014	0.060	0.011
睾丸	14.86	0.83	0.128	23.43	0.037	0.054	0.022
血液 ²⁾	6.538	1.077	0.027	480.8	0.027	0.031	0.0003
皮肤	2.885	0.385	0.040	6.540	0.065	0.183	0.009
肌肉	53.57	0.893	0.055	39.29	0.012	0.061	0.007
脂肪	2.000	0.267	0.037	26.67	0.024	0.039	0.027

器官 组织	元素, $\mu\text{g/g}$ 湿重							
	Mo	Sr	K	Na	Ca	Mg	Pb	Cd
胃	0.031	0.080	1400	1000	66.67	106.67	0.093	0.400
大肠	0.027	0.197	1108	1000	113.5	148.65	0.124	0.351
小肠	0.050	0.144	1359	1000	84.38	120.31	0.131	0.422
心	0.039	0.025	2182	1212	36.36	163.64	0.055	0.485
肝	1.000	0.018	2500	1000	50.00	172.22	1.722	0.222
脾	0.056	0.288	3111	1222	66.67	127.78	0.350	0.722
肺	0.031	0.057	1900	1800	87.00	71.00	0.390	0.350
肾	0.035	0.058	1903	2000	93.55	129.03	1.097	31.49
骨 ¹⁾	0.048	32.00	1500	3200	100000	1100.0	11.00	1.200
脑	0.064	0.024	3000	1571	85.71	150.00	0.100	0.785
胸腺	0.011	0.070	600	—	85.00	30.00	0.050	0.170
胰腺	0.048	0.035	2300	1400	91.00	160.00	0.550	0.960
肾上腺	0.069	0.016	1000	—	40.71	44.29	0.121	0.350
甲状腺	0.045	0.130	1200	2200	350.0	100.00	0.120	0.700
睾丸	0.043	0.046	2000	2171	94.29	108.75	0.129	0.543
血液 ²⁾	0.016	0.035	1692	1346	59.62	40.38	0.269	0.007
皮肤	0.014	0.035	423.1	865.4	75.00	28.85	0.154	<0.173
肌肉	<0.046	0.015	3000	750.0	31.07	189.3	0.061	<0.607
脂肪	0.007	0.274	355.5	563.0	25.19	22.22	0.044	0.052

注:1)肋骨;2) $\mu\text{g/ml}$ 。

三、元素的检测方法及质量控制

1. 检测方法

列入 ICRP 第 23 号出版物的元素含量值,采用的方法较多,包括原子吸收法、化学法、比色法、荧光测定法、火焰光谱法、放化分析法、发射光谱法、分光光度法及 X 射线荧光法等,其中有些方法较陈旧,灵敏度低,在一定程度上影响检测值的准确度和精密度。一般来说,原子吸收光谱法灵敏度较高(10^{-9}g/mL),与光谱化学法相比,测定中干扰和元素共存影响小,因而在最佳条件下精密度可达 $1\%\sim 2\%$ 。近年来,随着检测分析技术的发展,先进的核技术如超热中子活化分析(ENAA)和电感耦合等离子质谱(ICP-MS)相继问世,其探测限从原来原子吸收光谱(AAS)或电感耦合等离子光谱(ICP-AES)的 10^{-9} 水平(ng/g)降到 10^{-15} 水平(fg/g),灵敏度提高了 10^6 量级,而且可同时对生物样品进行多元素的分析,从而为微量、超微量元素的检测提供了新的手段。

表 11.3 食物和有关生物材料中元素测定的分析技术

分析元素	简易实用方法	费用高的方法	应用受限的方法
常检测的少量元素			
Ca	FAAS	ICP-AES	X 射线 PIXE
Cl	SP	INAA	X 射线 PIXE
Mg	FAAS	ICP-AES	X 射线 PIXE
K	FAAS	ICP-AES	X 射线 PIXE
Na	FAAS	ICP-AES	X 射线 PIXE
常检测的微量元素			
Cd	ASV	GF-AAS	ICP-AES
Cu	FAAS	ICP-AES	X 射线 PIXE
Fe	FAAS	GF-AAS	
I	POT	ENAA	INAA
Pb	ASV	GF-AAS	X 射线 PIXE
Zn	FAAS	ICP-AES	X 射线 PIXE
Se	SP	ICP-MS	GC-MS
较少检测的微量元素			
Al	SP	INAA	X 射线
As	AES	RNAA	X 射线
Cs	FAAS	ICP-MS, GFAAS	
Co	SP	ICP-AES, GF-AAS	GC-MS
Cr		GF-AAS	
Mn	FAAS	GFAAS	X 射线 PIXE
Mo	SP	GFAAS	ICP-AES
Ni	ASV	GFAAS	X 射线
Sr	FAAS	GFAAS	X 射线
U	α -SP	ICP-MS	INAA
Th	α -SP	ICP-MS	Delayed neutron counting

注:GAAS 为火焰原子吸收光谱法,GFAAS 为无焰原子吸收光谱法,ASV 为阳极溶出伏安法,SP 为分光光度测定法,AES 为原子发射光谱法,ICP-AES 为电感耦合等离子光谱法,ICP-MS 为电感耦合等离子质谱法,INAA 为仪器中子活化分析法,ENAA 为超热中子活化分析法,RNAA 为放化中子活化分析法,XRF 为 X 射线荧光分析法,PIXE 为质子激发 X 射线荧光分析法,GC-MS 为气相色谱质谱仪,POT 为电位测定法, α -SP 为 α 谱仪,Delayed neutron counting 为缓发中子计数。

在选择各类元素的检测方法时,除了方法灵敏度高和准确可靠外,也要考虑技术条件和经济条件,一般尽量采用简易实用便于推广的方法。表 11.3 为 IAEA 列出了各类元素适用的检测分析方法^[7]。表明常量元素 K,Na,Ca,Mg 等和常见的微量元素 Zn,Cu,Cd,Se 等,一般选用火焰原子吸收光谱法(F-AAS)、原子发射光谱法(AES)或 ICP-AES 法进行检测;而对 I 元素,因易挥发不能高温制样,故只能直接用 ENAA 法进行非破坏性分析;对不常见的微量元素,其中 Mn,Ni,Mo,Cs,Sr,Co 等可用 F-AAS 或石墨炉原子吸收光谱法(GF-AAS),而对 U,Th 等元素,应选用 ICP-MS 法或放化中子活化分析法(RNAA),这是因为一般软组织中 Sr,Cs 浓度分别为 5~20ng/g 湿重和 5~100ng/g 湿重,而 U,Th 的浓度仅有 0.1~2.0ng/g 湿重,后者的浓度低于 AAS 法的探测限。质子激发 X 射线荧光分析法(PIXE),瞬发 γ 活化分析法(PGAA),X 射线荧光分析法(XRF)及同位素稀释质谱分析法(IDMS)等探测限低,具有测定多种元素的能力,但费用昂贵,技术设施要求高,故推广应用受到了限制。有关生物样品中 U,Th 的 ICRP-MS 法分析研究,日本放射线医学综合研究所(NIRS)的人类辐射环境部已有报

道。我国北京医科大学公共卫生学院中心实验室也正在建立这种检测方法。生物样品中 I 的中子活化分析,国内仅有原子能科学研究院于 1994 年报道了人全血和血清中碘含量的微堆仪器超热中子活化分析法,方法快速、准确,灵敏度高,优于其它各种测碘的方法。中国辐射防护研究院从 1988 年开始承担了 IAEA 的 CRP 协作项目,先后已进行了 100 例我国正常成年人器官中 15 种元素的检测,其中对 Zn, Cu, Mn, Fe, Cd, K, Na, Ca, Mg 等元素用 YXF-1 型原子吸收光谱仪空气-乙炔火焰原子吸收法,而对 Cr, Ni, Co, Mo, Sr, Pb 等元素则用 P-E432 型原子吸收光谱仪无焰原子吸收法,最低探测限可达 2ng/ml 水平。

2. 质量控制

为使分析检测的数据达到规定的准确度和精密度,减少误差,并使各实验室所测数据有可比性,根据 IAEA-CRP 第二阶段工作的要求,结合我国实际情况,对质量控制作出如下规定。

(1) 确定采样的准则 器官组织样品应取自正常人急死者尸体(交通事故死亡或他杀死亡者),死前基本健康,并于死后 24 小时内取样,以防止因自溶而导致部分元素的丢失。凡有下列情况之一者不作取材,即:发育不良性疾病患者、慢性疾病患者、妊娠或哺乳等生理性改变者,死前有明显有害职业史和急、慢性各种中毒史者及死后腐败变化者。固定各器官的采样部位,以防止不同部位带来的误差。样品置于有标记的洁净聚乙烯塑料袋中,并迅速放入低温冰箱(-25°C)中冷冻保存。

(2) 确定制样的程序 在洁净实验室内进行操作,操作者穿戴防护衣具和无滑石粉的塑胶手套。从低温冰箱中取出样品,解冻后,用高纯水冲洗表面血水,用防止金属元素污染的钛刀和钛镊子剔除表面脂肪、结缔组织、筋膜等,切割成小块,用滤纸吸水,晾干后称湿重。骨样在马福炉中逐步升温灰化(用石英坩埚),不超过 550°C ,灰化总时间在 18 小时以上;软组织样可在 -40°C 冷冻干燥机样品仓内冷冻 72 小时,制成冻干粉;也可在 80°C 恒温鼓风干燥箱中烘干 48 小时,再在玛瑙研钵中研磨,制成烘干粉。恒重后称得干灰重量,求得湿重与干重的比值。干灰样置于有标记的洁净聚乙烯塑料小袋中封存,并保存在干燥器中。若长期保存,也可将干样用 $2.5\text{ kGy}^{60}\text{Co}\gamma$ 射线辐照消毒。操作全过程皆在防止元素污染的条件下进行,研磨和分装干样皆应在超净工作箱内完成,同时也要避免细菌污染,因细菌作用组织样品,可产生自溶现象,从而造成元素浓度分布不均匀。

(3) 确定分析方法的程序 按各元素的分析要求建立相应合适的分析方法,确定分析步骤,并选用参考物质(RMs)作方法验证,进行质控检验。按 IAEA 规定^[7],为取得高质量的检测数据,将逐步按质控新的国际准则(如 ISO-25)来要求,成立质控指导委员会指导比对工作,并指定日本 NIRS 人类辐射环境部化学实验室作为中心参考实验室,负责对各参与国的检测样品进行抽样检验。具体质控要求有以下几点:①确定方法探测下限(LOD)及方法定量限(LOQ),LOD 以空白值 3 倍标准差计算,而 LOQ 以空白值 10 倍标准差计算;②精密度,若分析的浓度 $< 2\text{LOQ}$,则一定要重复分析,总之,重复测量值的变异系数应小于 10%;③准确度,加标回收率达 80%~110%内,或者按 IAEA 要求,用 3 个水平的定值参考物质对分析结果进行检验,如图 11.1 所示,凡定值数据与检验报告的数值二者组成的坐标点落在图上的最大容许偏离范围内,则该分析结果认为可取;④标准回归曲线的建立,配制各待测元素的不同浓度标准溶液,在同一测量条件下进行检测,拟合曲线的相关系数 r 值要达到 0.999 以上方可。

(4) 确定采用的参考物质(Rms) 参考物质一般分四类,即:①基本标准,是高纯度化学物品,用于仪器的刻度;②一级参考物质,是具有国际公认的高分析可信度的物质,用于新分析技

术的检验;③次级参考物质,常用于分析方法的质
量控制;④三级参考物质,是实验室内备用的对某
一选定基质的质量控制物质。由于一级参考物质
费用昂贵,故一般常用次级参考物质进行分析方
法的验证。IAEA 于 1995 年曾列出了近 120 种国
际上公认的用于生物样品中元素分析的参考物
质^[8],表 11.4 仅列出了常用于人体器官组织的参
考物质,例如 NIST-SRM 1486 骨粗粉(定值元素
18 种)、NIST-SRM 1577b 牛肝(定值元素 25
种)、NIST-SRM 8414 牛肌肉粉(定值元素 37
种)、IAEA-A-13 动物血(定值元素 14 种)等,用
于饮食样品的有 NIST-SRM 1548 总膳食(定值
元素 24 种)。在我国用于生物医学微量元素分析
的参考物质已有 30 种,其中 GBW-08551 猪肝
(定值元素 17 种)是我国商业部食品检测科学研
究所研制,已用于上述 100 例我国成年人器官样
品检测的 AAS 验证中。验证结果表明,测定值与
元素定值基本接近。

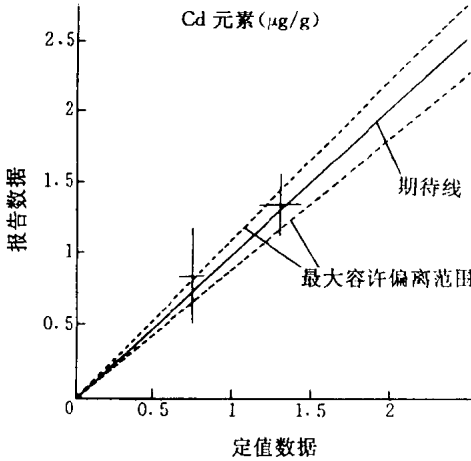


图 11.1 用三个定值的参考物质验证分析
方法的实例

表 11.4 IAEA 推荐的常用于生物样品微量元素分析的参考物质(1995)

编号	基质	定值元素	供应单位
(1)BCR-CRM 185	牛肝	As, Cd Cu Fe Hg Mn Pb Se Zn Ca Cl Cr I K Mg Na Ni P	比利时欧洲共同体标准局
(2)BCR-CRM 186	猪肾	As Cd Cu Fe Hg Mn Pb Se Zn Ca Cl Cr I K Mg Na Ni P	比利时欧洲共同体标准局
(3)BCR-CRM-397	人发	Cd Hg Pb Se As Cu Ni Zn	比利时欧洲共同体标准局
(4)NIES-CRM-10c	米粉	Ca Cd Cu Fe K Mg Mn Mo Na Ni P Rb Zn Al As Br Cl Co Cr Hg Se Sr	英国国家标准技术研究所
(5)NIST-SRM-1486	骨粗粉	Ca Fe K Mg P Pb Sr Zn Al As C Cd Cu F Mn Na Se Si	英国国家标准技术研究所
(6)NIST-SRM-1548	全饮食	Ca Cd Cl Cu Fe K Mg Mn N Na P S Se Zn Al B Cs Eu Li Mo Ni Pb Rb Sn	英国国家标准技术研究所
(7)NIST-SRM-1577b	牛肝	Ag Ca Cd Cl Cu Fe K Mg Mn Mo Na P Pb Rb S Se Sr Zn Al As Br Co Hg Sb V	英国国家标准技术研究所
(8)NIST-SRM-8414	牛肌 肉粉	Al As B Br Ca Cd Cl Co Cr Cu Fe Hg I K Mg Mn Mo N Na Ni P Pb Rb S Se Sr Zn Ba Cs F	英国国家标准技术研究所
(9)IAEA-A-13	动物血	Br Ca Cu Fe K Na Rb S Se Zn Mg Ni P Pb	IAEA 分析质控服务司
(10)IAEA-153	奶粉	Br Ca Fe K Mg Na P Rb Zn	IAEA 分析质控服务司

(5)数据处理 对 AAS 测量结果的数据,用 Grubbs 检测准则进行检验,取显著性水平 $\alpha = 0.05$,则大于测量次数 n 时的临界值 $G(n, \alpha)$ 的数据舍弃,由此计算均值,并以标准差表示其偏离情况。

四、人体内器官组织元素含量

为测定正常成年人器官组织中元素含量的正常值,样品取自我国南北方地区,即山西省太原市、长治市和四川省成都市以及湖南省长沙市等地,皆为正常人急死者,合计 100 例,其中男性 68 例、女性 32 例,平均年龄 (31.3 ± 11.0) 岁,其中 20~50 岁间的占有 86 例,按采样准则要求选取 16 个器官组织,分别是:胃、小肠、大肠、心、肝、脾、肺、肾、骨(肋骨)、大脑、胸腺、胰腺、肾上腺、甲状腺、脑垂体及性腺等;另取正常成年人 50 例(南北方各 25 例),收集血液、皮肤、肌肉及脂肪等组织。测定元素有 15 种,计 Zn, Cu, Mn, Fe, Cr, Ni, Co, Mo, Sr, K, Na, Ca, Mg, Cd, Pb 等。用原子吸收光谱法分别对上述元素进行检测,并用参考物质猪肝粉(GBW 08551)对 Zn, Mn, Fe, Mg, Pb, Mo, Co, Cr, K, Na 等元素检测进行验证,结果表明其差异皆在误差范围内,方法精密度小于 10%,回收率达 80%~110%。各器官组织元素浓度值以每 g 湿重 μg 计,血液以每 ml 中 μg 计,皆以均值士标准差表示。以我国成年人各器官组织的重量参考值(其中骨、大肠、小肠、胸腺、垂体、睾丸、卵巢、血液、皮肤、肌肉、脂肪等的重量引自亚洲参考人的数值)乘以浓度值,从而取得各器官组织内的元素含量值(mg)以及各元素的体内近似总含量值(因 20 个器官组织合计总重量为 57.42kg,比 60kg 体重差 4.3%)。分别见表 11.5 至表 11.8,并分别比较各器官组织中元素浓度值的地区差异和性别差异(图 11.2 至图 11.4)。

表 11.5-1 我国正常成年人器官组织中元素浓度值($\mu\text{g/g}$ 湿重)

器官组织	Zn	Cu	Mn	Fe	Cr	Ni	Co
胃 ¹⁾	20.41	1.406	0.693	39.36	1.124	0.188	0.017
	4.38	0.431	0.317	17.45	1.849	0.158	0.107
大肠	18.73	1.280	1.452	37.43	1.404	0.238	0.014
	5.30	0.494	1.035	19.55	1.795	0.185	0.011
小肠	18.22	1.381	0.010	42.23	1.249	0.258	0.015
	5.36	0.496	0.508	23.96	1.763	0.239	0.010
心	24.42	2.988	0.453	66.44	1.464	0.150	0.026
	4.85	0.772	0.186	22.29	1.972	0.151	0.018
肝	48.93	7.820	1.594	240.2	1.304	0.168	0.038
	12.81	5.010	0.543	153.0	1.875	0.179	0.018
脾	18.17	0.966	0.324	287.0	1.161	0.131	0.016
	4.14	0.265	0.151	164.2	1.591	0.118	0.016
肺	14.26	1.063	0.536	186.9	1.317	0.260	0.027
	5.87	0.433	0.346	111.2	1.621	0.255	0.021
肾	32.63	2.031	1.071	86.42	1.308	0.166	0.020
	5.87	0.614	0.358	43.83	2.041	0.165	0.019
骨骼 ²⁾	52.65	1.800	2.050	85.57	1.522	2.076	0.148
	25.20	0.771	0.970	48.02	2.216	2.035	0.358
大脑	13.87	4.404	0.424	61.70	1.619	0.246	0.027
	3.17	1.705	0.155	20.32	2.365	0.289	0.106

(续表)

器官组织	Mo	Sr	K	Na	Ca	Mg	Cd	Pb
胃 ¹⁾	0.050	0.248	1475	1390	25.47	140.3	0.237	0.121
	0.026	0.158	414	462	13.48	45.36	0.157	0.101
大肠	0.039	0.663	1269	1358	30.58	187.6	0.202	0.105
	0.025	0.500	451	584	17.08	97.10	0.123	0.094
小肠	0.051	0.406	1342	1545	26.73	159.1	0.254	0.150
	0.042	0.265	478	608	13.34	65.90	0.130	0.167
心	0.052	0.089	2200	1232	15.99	202.2	0.132	0.115
	0.025	0.048	536	392	9.47	61.45	0.066	0.106
肝	0.877	0.092	2059	1143	18.76	174.9	1.048	0.257
	0.476	0.058	596	401	10.19	51.18	0.543	0.168
脾	0.023	0.102	2490	1132	23.14	158.0	0.241	0.173
	0.016	0.060	612	391	10.99	39.40	0.121	0.136
肺	0.029	0.238	1799	1556	26.37	116.8	0.367	0.130
	0.021	0.153	376	532	12.68	44.54	0.332	0.101
肾	0.217	0.130	1895	1552	21.33	137.0	10.27	0.155
	0.110	0.077	1073	427	9.50	41.12	8.30	0.099
骨骼 ²⁾	1.611	44.97	1528	2937	63059	1431	1.680	0.409
	0.872	25.68	672	1138	40764	724	0.878	0.556
大脑	0.041	0.090	2330	1370	19.19	145.0	0.105	0.147
	0.022	0.074	612	851	9.48	45.20	0.037	0.186

注:1) 上行数据为均值,下行数据为标准差;2) 肋骨。

表 11.5-2 我国正常成年人器官组织中元素浓度值($\mu\text{g/g}$ 湿重)

器官组织	Zn	Cu	Mn	Fe	Cr	Ni	Co
胸腺	12.93	0.680	0.468	42.46	3.376	0.291	0.036
	5.78	0.322	0.337	30.85	3.438	0.230	0.030
胰腺	31.29	1.162	1.408	54.14	1.498	0.215	0.020
	8.02	0.370	0.497	30.56	2.269	0.220	0.022
肾上腺	17.85	1.457	0.706	80.83	2.420	0.390	0.022
	5.58	0.495	0.250	38.23	3.330	0.375	0.017
甲状腺	23.54	0.847	0.510	55.11	1.580	0.199	0.050
	8.50	0.283	0.247	30.66	2.220	0.206	0.096
脑垂体	23.85	2.397	1.079	112.2	4.633	0.402	0.077
	19.22	1.026	0.546	63.0	7.712	0.375	0.063
睾丸	12.05	0.689	0.275	25.99	1.360	0.148	0.016
	3.27	0.183	0.121	11.24	1.961	0.155	0.019
卵巢	10.79	0.888	0.331	44.57	1.158	0.223	0.015
	2.72	0.281	0.143	22.42	1.157	0.323	0.016
血液*	8.57	1.100	0.091	322.2	0.170	0.112	0.010
	2.93	0.446	0.046	208.5	0.139	0.114	0.007
皮肤	6.52	0.603	0.190	21.40	0.464	0.123	0.015
	2.80	0.256	0.103	10.70	0.301	0.092	0.008
肌肉	69.40	0.894	0.236	43.20	0.293	0.106	0.028
	30.20	0.172	0.134	16.00	0.163	0.069	0.035
脂肪	6.61	1.050	0.227	15.20	1.550	0.253	0.014
	3.74	0.680	0.142	7.50	0.710	0.105	0.008

(续表)

器官组织	Mo	Sr	K	Na	Ca	Mg	Cd	Pb
胸腺	0.042	0.430	1385	1116	65.34	122.1	0.147	0.144
	0.031	0.327	644	560	76.89	56.74	0.083	0.129
胰腺	0.079	0.130	2278	1248	24.36	207.7	0.512	0.199
	0.043	0.084	569	367	11.95	188.5	0.447	0.143
肾上腺	0.133	0.182	1604	1354	37.05	118.4	0.377	0.206
	0.071	0.115	512	593	25.15	35.89	0.257	0.186
甲状腺	0.042	0.257	1559	1768	66.54	104.2	0.465	0.042
	0.028	0.133	45.1	573	29.27	31.71	0.322	0.048
脑垂体	0.095	0.554	1568	2075	128.5	159.8	0.446	0.645
	0.084	0.281	643	865	68.68	95.54	0.324	0.606
睾丸	0.033	0.095	1869	1636	18.66	109.0	0.156	0.096
	0.013	0.049	382	525	8.45	25.03	0.086	0.088
卵巢	0.029	0.166	1560	1595	22.00	98.28	0.158	0.071
	0.013	0.085	200	562	10.21	26.74	0.113	0.074
血液*	0.010	0.072	1380	2211	8.64	81.10	0.048	0.023
	0.006	0.038	304	333	2.75	67.60	0.008	0.012
皮肤	0.041	0.099	844	1340	29.90	66.60	0.094	0.109
	0.031	0.044	348	430	11.60	24.70	0.078	0.119
肌肉	0.067	0.060	2280	1110	17.10	230.0	0.130	0.130
	0.044	0.029	750	460	6.40	85.00	0.071	0.062
脂肪	0.006	0.144	190	273	10.50	18.10	0.050	0.026
	0.004	0.064	90	134	5.60	8.10	0.016	0.022

注：* 单位以 $\mu\text{g/ml}$ 计。

表 11.6 我国正常成年人器官组织中元素含量值(mg)

器官组织	Zn	Cu	Mn	Fe	Cr	Ni	Co
胃 ¹⁾	2.857	0.197	0.097	5.510	0.157	0.026	0.002
大肠 ¹⁾	6.181	0.422	0.479	12.35	0.463	0.079	0.005
小肠 ¹⁾	10.75	0.815	0.596	24.92	0.737	0.152	0.009
心	7.937	0.971	0.147	21.59	0.476	0.049	0.009
肝	68.99	11.03	2.248	338.7	1.839	0.237	0.054
脾	3.089	0.164	0.055	48.79	0.197	0.022	0.003
肺	18.25	1.361	0.686	239.2	1.686	0.333	0.035
肾	9.463	0.589	0.311	25.06	0.379	0.048	0.006
骨骼 ²⁾	421.2	14.40	16.40	684.6	12.18	16.61	1.184
脑	20.56	6.430	0.619	90.08	2.364	0.359	0.039
胸腺	0.389	0.020	0.014	1.274	0.101	0.009	0.001
胰腺	3.755	0.139	0.619	6.497	0.181	0.026	0.002
肾上腺	0.250	0.021	0.010	1.132	0.034	0.006	0.0003
甲状腺	0.612	0.022	0.013	1.433	0.041	0.005	0.001
脑垂体 ¹⁾	0.014	0.001	0.0007	0.067	0.003	0.0002	0.00005
睾丸 ¹⁾	0.446	0.026	0.010	0.962	0.050	0.006	0.0006
卵巢 ¹⁾	0.119	0.010	0.004	0.490	0.013	0.003	0.0002
血液 ¹⁾	38.57	4.950	0.410	1450	0.765	0.504	0.045
皮肤 ¹⁾	24.01	1.447	0.456	51.36	1.114	0.295	0.036
肌肉 ¹⁾	1735	22.35	5.900	1080	7.325	2.650	0.700
脂肪 ¹⁾	72.71	11.55	2.497	167.2	17.05	2.783	0.154
合计 ³⁾	2445	76.91	31.12	4251	47.16	24.20	2.286

(续表)								
器官组织	Mo	Sr	K	Na	Ca	Mg	Cd	Pb
胃 ¹⁾	0.007	0.035	206.5	194.6	3.566	19.64	0.033	0.017
大肠 ¹⁾	0.013	0.219	417.8	448.1	10.09	61.91	0.066	0.035
小肠 ¹⁾	0.030	0.240	791.8	911.6	15.77	93.87	0.150	0.088
心	0.017	0.029	715.0	400.4	5.179	65.72	0.043	0.037
肝	1.237	0.130	2903	1612	26.45	246.6	1.478	0.362
脾	0.004	0.017	423.3	192.4	3.934	26.86	0.041	0.029
肺	0.037	0.305	2303	1992	33.75	149.5	0.470	0.166
肾	0.063	0.038	549.6	450.1	6.186	39.73	2.978	0.045
骨骼 ²⁾	12.89	359.8	12224	23496	504474	11448	13.44	3.272
脑	0.060	0.131	3402	2000	28.02	211.7	0.153	0.215
胸腺	0.001	0.013	41.55	33.48	2.963	3.663	0.004	0.004
胰腺	0.010	0.016	273.4	149.8	2.923	24.92	0.073	0.024
肾上腺	0.002	0.003	22.46	18.96	0.519	1.659	0.005	0.003
甲状腺	0.010	0.007	40.53	45.97	1.730	2.709	0.012	0.001
脑垂体 ¹⁾	0.00006	0.003	0.941	1.245	0.077	0.096	0.0003	0.0004
睾丸 ¹⁾	0.001	0.004	69.15	60.53	0.690	4.033	0.006	0.004
卵巢 ¹⁾	0.0003	0.002	17.16	17.55	0.242	1.081	0.002	0.0008
血液 ¹⁾	0.045	0.324	6210	9950	38.88	365.0	0.216	0.104
皮肤 ¹⁾	0.098	0.238	2026	3216	71.76	159.8	0.226	0.262
肌肉 ¹⁾	1.675	1.500	57000	27750	427.5	5773	3.250	3.250
脂肪 ¹⁾	0.066	1.584	2090	3003	115.5	199.1	0.550	0.286
合计 ³⁾	16.26	392.7	91727	75944	505318	18899	23.20	8.205

注:1) 按亚洲参考人的器官重量估算而得^[15]; 2)肋骨; 3)近似体内总含量。

表 11.7 15 种元素在不同器官组织中浓度值的分布

元素	器官组织	
	最高浓度	最低浓度
Zn	肌肉,骨骼,肝	皮肤,脂肪
Cu	肝,脑	皮肤,胸腺
Mn	骨骼,肝,大肠	血液,皮肤
Fe	血液,肝,脾,肺	脂肪,皮肤
Cr	垂体,胸腺,肾上腺	血液,肌肉
Ni	骨骼	血液,肌肉
Co	所有组织中皆低	
Mo	骨骼,肝	血液,脂肪
Sr	骨骼	血液,肌肉
K,Na,Ca,Mg	常量元素(K,Na>Ca,Mg)	
Ca	骨骼	血液,脂肪
Cd	骨骼,肝,肾	血液,脂肪
Pb	垂体,骨骼	血液,脂肪

表 11.8 15 种元素在不同器官组织中含量值的分布

元素	器官组织	
	最高浓度	最低浓度
Zn	肌肉, 骨骼	垂体, 卵巢
Cu	肌肉, 骨骼, 肝, 脂肪	垂体, 卵巢
Mn	骨骼, 肌肉	垂体, 卵巢
Fe	血液, 肌肉, 骨骼	垂体, 卵巢
Cr	脂肪, 骨骼	垂体, 卵巢
Ni	骨骼	垂体, 卵巢
Co	骨骼, 肌肉	垂体, 卵巢
Mo	骨骼, 肌肉	垂体, 卵巢
Sr	骨骼	垂体, 卵巢
K, Na	骨骼, 肌肉	垂体, 卵巢
Ca, Mg	骨骼	垂体, 卵巢
Cd	骨骼, 肌肉, 肾	垂体, 卵巢
Pb	骨骼, 肌肉	垂体, 卵巢

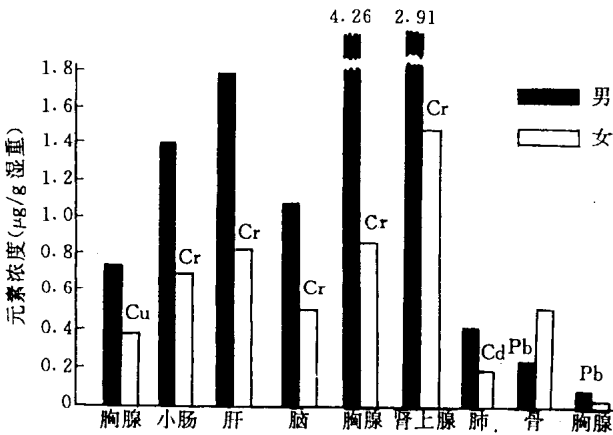


图 11.2 某些器官中元素浓度的性别差异

归纳上述检测数值,其主要结果如下。

1)K,Na,Ca,Mg 为人体的常量元素,一般来说,各器官组织中的 K,Na 浓度皆明显高于 Ca,Mg,每 g 组织均达 mg 级水平(除外皮肤和脂肪),但骨骼中 Ca 浓度例外,明显高于 K,Na,可高达(59.26±27.90)mg/g 湿重,而血液中的 Ca 浓度为最低,仅为(8.64±2.75)μg/ml。若以含量值计,骨中 Ca 含量可达体内近似总 Ca 量的 99.8%。而肌肉中 K 含量可达体内近似总 K 量的 62.8%。

2)Zn,Mn,Ni,Sr,Ca,Mg,Pb 等元素,皆以骨骼中的浓度最高,其中 Ca,Mg 尤为突出,每 g 骨组织可达 mg 级水平,故属常量元素。若以含量值计,上述元素在骨骼中的含量仍然是较高的,而 Zn 在肌肉中的含量也为最高,可达体内近似总 Zn 量的 71%。

3)其它元素在脏器组织中浓度较高的,分别有:肝中 Cu,Mo 和 Fe,脾、肺和血液中 Fe,垂

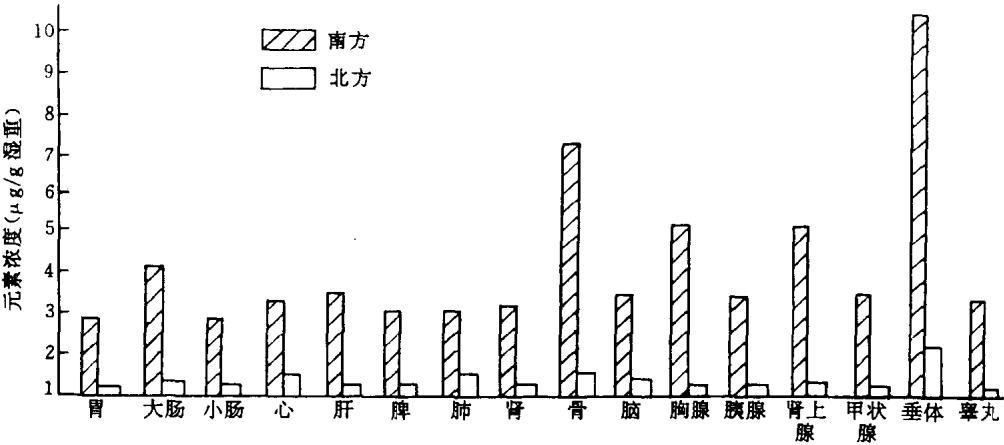


图 11.3 各器官中 Cr 浓度的地区性差异

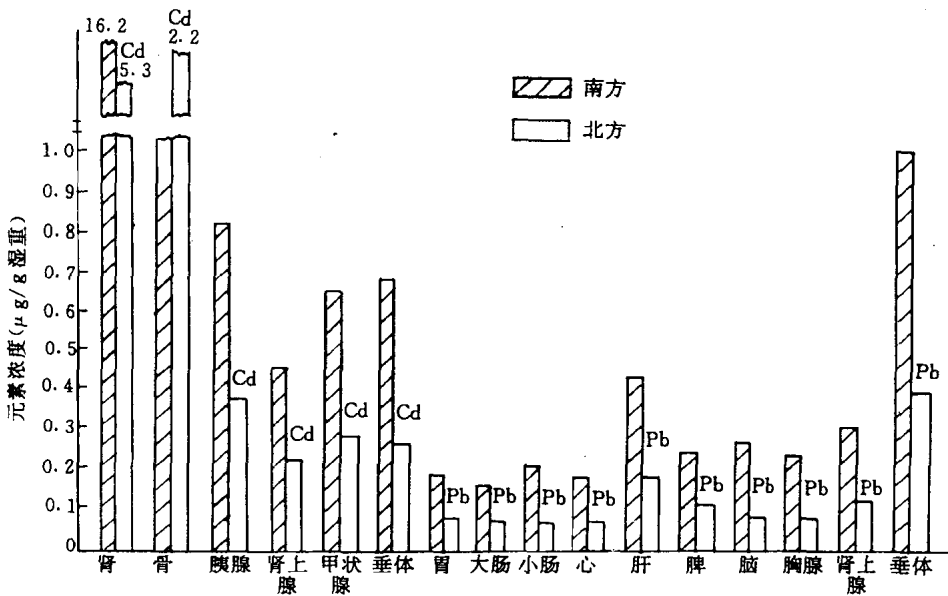


图 11.4 各器官组织中 Cd, Pb 浓度的地区性差异

体中的 Cr 和 Pb, 以及肝、肾、骨中的 Cd 等。若以含量值计, 则 Fe 在血液、肌肉和骨中含量较高, 分别达体内近似总 Fe 量的 34.1%、25.4% 和 16.1%; Cd 和 Pb 的含量相对以骨中为高, 分别达 57.9% 和 39.1%。

4) 多数元素在血液、脂肪中的浓度是低的, 而 Co 和 Mo 在所有器官组织中的浓度皆较低, 一般仅在 $10^{-2} \mu\text{g/g}$ 湿重水平, 仅在骨中的浓度略有增高, 分别为 $0.15 \mu\text{g/g}$ 湿重和 $1.61 \mu\text{g/g}$ 湿重水平。

5) 由于骨骼和肌肉的重量较大, 故上述大多数元素在这两个器官组织中的含量为最高, 相反, 因垂体和卵巢的重量很小, 故上述元素在这两个器官组织中的含量为最低, 多数仅占体内各元素近似总含量的 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ 水平。

6)若干元素在某些器官组织中的浓度存在性别的差异,例如小肠、肝、脑、胸腺及肾上腺中的Cr、肺中Cd、骨及胸腺中Pb(图11.2),以及肝、大肠、性腺中的Fe、胸腺中Ca和心中Mg的浓度也存在差异,一般多见男性数值高于女性。

7)若干元素在某些器官组织中的浓度还存在明显的地区性差异,例如Cr在所有检测器官中的浓度皆为南方高于北方,高出倍数在3.9(肺)和25(睾丸)间(图11.3)。另外,有害元素Cd和Pb在许多器官组织中的浓度也以南方为高(图11.4),尤以肾、垂体、甲状腺中的Cd浓度,南方比北方分别高出2.3,2.6和3.0倍;Pb在多个器官组织中的浓度,南方也高于北方,高出倍数在2.2(胰腺)和4.8(脑)间。

五、与国外资料的比较

将我们的检测结果,与1975年ICRP第23号出版物(表11.2)^[5],1986年K. Shiraishi等^[9]发表的日本人数值(表11.9),1970年S. D. Soman等^[10]报道的印度Bombay人数值(表11.10),以及1995年E. S. Natera报道的菲律宾人数值(表11.11)^[7]相比较,可分别得出如下评论。

表 11.9 日本成年人器官组织中的元素浓度值¹⁾($\mu\text{g/g}$ 湿重)

脏器 组织	元 素									
	Zn	Cu	Fe	Mn	Sr	K ²⁾	Na ²⁾	Ca	Mg	Cd
心脏	23.9	3.39	63.2	0.262	0.032	2.95	1.20	44.9	193	0.154
肝脏	63.8	10.30	212	1.580	0.020	2.84	1.56	38.4	145	9.690
脾脏	13.5	1.11	260	0.051	0.029	3.47	1.19	57.1	117	0.463
肾脏	39.6	2.39	86.7	0.757	0.091	2.20	1.89	168	125	18.80
脑	9.97	5.01	49.1	0.231	0.021	2.85	1.72	50.5	126	0.110
胰腺	30.6	1.53	37.1	0.150	0.079	2.91	1.39	117	173	5.410

1)采用ICRP-AES分析法;2)mg/g 湿重;引自 Talanta,1986,33(11):861—865。

表 11.10 印度成年人体组织中元素含量的研究

器官 组织	元素, $\mu\text{g/g}$ 湿重			
	Na ¹⁾	K ¹⁾	Ca ¹⁾	Mg ¹⁾
胃	2.01 $\pm$ 1.76	1.49 $\pm$ 0.85	0.14 $\pm$ 0.09	0.20 $\pm$ 0.10
心脏	1.70 $\pm$ 1.01	2.44 $\pm$ 0.97	0.11 $\pm$ 0.06	0.28 $\pm$ 0.15
肝脏	1.49 $\pm$ 0.55	2.38 $\pm$ 0.93	0.10 $\pm$ 0.05	0.24 $\pm$ 0.08
脾脏	1.63 $\pm$ 0.89	3.25 $\pm$ 0.88	0.21 $\pm$ 0.32	0.22 $\pm$ 0.08
肺脏	2.22 $\pm$ 0.91	1.78 $\pm$ 0.87	0.15 $\pm$ 0.08	0.18 $\pm$ 0.10
肾脏	2.13 $\pm$ 0.93	2.00 $\pm$ 0.93	0.13 $\pm$ 0.07	0.22 $\pm$ 0.10
脑	1.71 $\pm$ 0.64	2.87 $\pm$ 1.04	0.13 $\pm$ 0.12	0.20 $\pm$ 0.09
胸腺	1.83 $\pm$ 1.25	2.79 $\pm$ 2.40	1.77 $\pm$ 1.63	0.31 $\pm$ 0.15
胰腺	2.31 $\pm$ 2.06	2.83 $\pm$ 1.46	0.15 $\pm$ 0.12	0.26 $\pm$ 0.13
肾上腺	1.78 $\pm$ 1.29	1.40 $\pm$ 0.77	0.15 $\pm$ 0.12	0.18 $\pm$ 0.08
甲状腺	2.50 $\pm$ 1.25	1.47 $\pm$ 0.74	0.55 $\pm$ 0.45	0.21 $\pm$ 0.10
性腺	1.83 $\pm$ 0.97	1.83 $\pm$ 1.38	0.13 $\pm$ 0.08	0.18 $\pm$ 0.09

器官 组织	元素, $\mu\text{g/g}$ 湿重				
	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb
胃	56.51 $\pm$ 29.14	2.30 $\pm$ 2.65	3.52 $\pm$ 2.44	16.29 $\pm$ 7.43	—
心脏	63.87 $\pm$ 29.94	1.33 $\pm$ 1.36	4.37 $\pm$ 3.12	20.26 $\pm$ 8.18	—
肝脏	129.86 $\pm$ 102.59	1.91 $\pm$ 1.51	7.23 $\pm$ 4.60	41.74 $\pm$ 20.02	—
脾脏	174.60 $\pm$ 141.80	1.75 $\pm$ 1.44	3.12 $\pm$ 2.88	20.29 $\pm$ 11.31	—
肺脏	174.39 $\pm$ 106.44	3.36 $\pm$ 3.58	4.78 $\pm$ 3.89	16.58 $\pm$ 12.91	—
肾脏	88.05 $\pm$ 48.05	2.36 $\pm$ 2.41	3.48 $\pm$ 1.50	29.41 $\pm$ 12.85	16.03 $\pm$ 13.00
脑	45.43 $\pm$ 27.16	1.17 $\pm$ 1.25	5.04 $\pm$ 2.66	17.06 $\pm$ 11.65	—
胸腺	56.30 $\pm$ 10.49	1.00 $\pm$ 0.65	3.85 $\pm$ 2.70	18.15 $\pm$ 7.78	—
胰腺	48.55 $\pm$ 26.23	1.46 $\pm$ 1.62	2.76 $\pm$ 1.69	21.83 $\pm$ 12.11	2.81
肾上腺	75.50 $\pm$ 52.00	2.00 $\pm$ 1.30	4.30 $\pm$ 7.80	14.90 $\pm$ 9.30	—
甲状腺	92.80 $\pm$ 80.30	2.75 $\pm$ 1.76	2.90 $\pm$ 1.76	23.71 $\pm$ 10.17	—
性腺	46.16 $\pm$ 39.62	1.74 $\pm$ 1.37	2.90 $\pm$ 2.56	11.45 $\pm$ 6.58	—

1) mg/g 湿重,引自 Health physics 1970, 19(5):641—656。

表 11.11 菲律宾人体器官组织内元素浓度值¹⁾($\mu\text{g/g}$ 湿重)

器官 组织	Zn	Cu	Mn	Fe	Cr	Co	Sr	K	Na	Ca	Mg
心	16.11	5.340	1.230	51.20	0.870	0.065	0.080	2309.2	1345.3	89.03	137.40
	5.20	3.280	0.900	21.30	0.400	0.070	0.020	1412.3	753.9	39.30	68.30
肝	24.10	7.700	1.570	54.35	0.235	0.035	0.031	1214.5	678.9	34.80	119.30
	8.27	2.260	0.650	10.30	0.036	0.017	0.005	161.2	80.00	4.10	25.80
脾	7.67	0.905	0.215	97.70	0.820	0.480	0.100	672.0	260.5	25.20	39.35
	2.34	0.285	0.025	8.30	0.060	0.095	0.059	8.0	11.5	1.70	3.05
肺	6.83	1.380	0.180	60.20	0.910	0.300	0.180	773.3	1160.0	139.0	45.80
	0.42	0.170	0.070	9.80	0.110	0.080	0.020	4.0	14.1	13.4	0.42
肾	5.41	1.690	0.190	21.92	0.320	0.082	0.053	540.0	709.5	70.7	40.00
	2.79	1.880	0.054	15.71	0.120	0.088	0.038	100.6	262.8	24.6	5.47
脑	10.55	3.010	0.600	22.15	0.170	0.019	0.046	643.5	254.8	36.8	59.73
	4.16	1.560	0.530	8.65	0.120	0.016	0.007	220.8	51.6	10.9	21.33

1) 引自 E. S. Natera(1995),上行数据为均值,下列数据为标准差。

1. 与 ICRP 参考人数值的差异

我国正常成年人器官中 15 种元素的高低规律基本与 ICRP 第 23 号出版物报道的结果相似;若以元素浓度值计,某些元素也存在明显差异(表 11.12 所示),主要是:①我国成年人某些器官组织中的 Mn,Ni,Co,Mo,Sr,Mg,Cd 皆明显高于 ICRP 报道的数值(4.1~33 倍),其中尤以 Cr 在所有器官组织中的浓度皆高于 ICRP 的数值(3.2~540 倍),后者的情况与 I. H. Tipton 等(1965)^[11]报道的在所检测的 9 个器官组织中 Cr 浓度(中值)皆为远东地区(含泰国、日本、菲律宾及我国香港和台湾省等)高于美国的数值(相差 1.6~13.5 倍)是相似的;②我国成年人肝、肾、骨、血液中的 Pb,脑、肌肉中的 Cd,却又明显低于 ICRP 的数值(相差 4.7~26.9 倍),其中尤以 Ca 浓度在所测器官组织中皆低于 ICRP 的数值(1.3~6.9 倍),表明我国成年人无论是 Ca 含量或 Ca 浓度皆低于欧美成年人。

表 11.12 我国成年人器官元素浓度与国外资料相比较

元素(器官组织)	比较结果	相差倍数
1. Mn(肺、胸腺、皮肤、肌肉、脂肪)	-我国>ICRP-23	(4.3~6.1)
Cr(所有器官组织)		(3.2~540)
Ni(胃、小肠、肺、骨、胸腺、肾上腺、脂肪)		(4.2~13.2)
Co(骨、胸腺、甲状腺、血液)		(4.0~33)
Mo(肾、骨)		(6.5,33.6)
Sr(肝、肺、胸腺、肾上腺、肌肉)		(4.0~11.4)
Mg(胸腺)		(4.1)
Cd(肝)		(4.7)
Ca(所有器官组织)		(1.3~6.9)
Pb(肝、肾、骨、血液)		(4.9~26.9)
Cd(脑、肌肉)	-我国<ICRP-23	(7.5~4.7)
2. Cu(胸腺、肺、睾丸)		(4.2~5.7)
Mn(脾、肺、甲状腺、睾丸)	-我国<印度	(5.4~6.3)
Pb(肾、胰腺)		(103,14)
Ca(肾上腺、甲状腺、胃、肝、肺、肾、胰、睾丸、心、脾、胸腺)	-我国>日本	(4.1~27)
3. Mn(脾、胰腺)		(6.4,9.4)
Sr(肝、脾、脑)	-我国<日本	(4.6,3.5,4.3)
Ca(心、肝、脾、肾、脑、胰腺)		(1.4~4.6)
Cd(肝、脾、肾、胰腺)	-我国>菲律宾	(2.0~9.2)
4. Zn(肾)		(6.0)
Mn(肾)		(5.6)
Fe(肝、肾)		(4.4,4.0)
Cr(肝、肾、脑)		(4.0~9.5)
K(脾、肾、脑)		(3.7,3.5,3.6)
Na(脾、脑)		(4.3,3.9)
Mg(脾、肾)		(4.0,3.4)
Co(脾、肺、肾)		(3.7,11,4.0)
Ca(心、肺、肾)		(5.6,5.3,3.3)

2. 与亚洲国家数值的差异

主要是:①我国成年人某些器官组织中的 Cu,Mn,Ca,Pb 浓度明显低于印度人的数值(相差 4.2~103 倍)(表 11.12 所示),其中也见在 12 个器官组织中 Ca 浓度明显低于印度人的数值(相差 4.1~27 倍)。②我国成年人 6 个器官中 Ca 浓度也低于日本人的数值(相差 1.4~4.6 倍),肝、脾、肾、胰腺中 Cd 浓度也低于日本人的数值(相差 2.0~9.2 倍),但 Mn,Sr 在若干器官中的浓度却高于日本人的数值(相差 3.5~9.4 倍);③与菲律宾人的数值相比,我国成年人在若干器官中 Zn,Mn,Fe,Cr,K,Na,Mg 的浓度高于菲律宾人的数值(相差 3.4~9.5 倍),但 Co 及 Ca 在少数器官中的浓度也低于菲律宾人的数值(相差 3.3~11 倍)。④检测值表明,器官组织中若干元素的浓度存在性别的差异,一般都是男性高于女性。日本学者(M. Yukawa)^[11]也有类似的报道,发现日本正常人肝、肾中 Cu,Cd 浓度存在性别的差异,多数也是男性高于女性,这可能与男女间生理功能的差别有关。⑤有关体内元素含量的年龄差异近年来已引起重视,ICRP 第 56 号(1990)、第 67 号(1994)、第 69 号(1995)、第 71 号(1996)及第 72 号(1996)出版物相继提出了公众成员摄入放射性核素所致剂量的年龄依赖关系。Yukawa(1989)曾指出^[12],日本正常人肾 Cu 含量及脑 Cd 含量皆随年龄增长(从 0~60 岁)而增高,但肝中 Cu 含量

却随年龄而下降。对造成环境污染的有害元素来说,一般情况下也随年龄增长而体内蓄积量相应增高,这一点已被 O'conner^[13](1980)等报道的人骨中 Pb 含量随年龄增长而增高的事实所证实。由于本次检测对象皆属成年组,因而未能提示器官元素含量随年龄的依赖关系,尚需补充成年人以下年龄段的数据,方可得出确切的结果。

3. 关于骨中 Sr/Ca 比值的差异

骨中 Sr 含量往往用骨 Sr/Ca 比值来表示,这对计算亲骨性核素⁹⁰Sr 在骨骼中剂量是重要的参数,其比值是随年龄的增长而升高。按 G. I. Tanaka 等(1981)报道^[14],新生儿时期,由于骨骼生长发育快,更新速率快,而胃肠道对 Sr, Ca 的鉴别能力低,故骨 Sr/Ca 比值是很低的,仅为 0.23mg Sr/g · Ca, 产后一个月,升高到 0.31mg Sr/g · Ca, 5~8 岁时为 0.33~0.34mg Sr/g · Ca, 到成年时达 0.50~0.54mg Sr/g · Ca, 到 50 岁后,骨 Sr/Ca 比值基本恒定。另外,在不同种类骨骼中其 Sr/Ca 比值是有差异的,以下列顺序而递增:椎骨<肋骨<长骨(除外股骨)<股骨<头盖骨。

按照本次测得的骨中 Sr 和 Ca 的含量,可分别得出我国成年人不同性别的骨 Sr/Ca 比值,并与日本人数值进行比较,即:

我国成年人(20~50 岁)

男性 374.3mg/515.4g=0.726mg/g

女性 233mg/345.3g=0.675mg/g

日本成年人(20~49 岁)

男性 437mg/850g=0.514mg/g

女性 335mg/646g=0.518mg/g

看来我国成年人骨 Sr/Ca 比值要比日本成年人要高,男性高出 1.41 倍,女性高出 1.30 倍,这与我国成年人骨中 Ca 含量低于日本人数值的因素直接相关。若以 ICRP 第 23 号出版物提供的 ICRP 参考人的骨 Sr 含量(320mg)与骨 Ca 含量(1000g)之比值(0.32mg/g)相比较,我国成年人的数值也比 ICRP 高于 2.27 倍,这显然也与我国成年人骨中 Ca 含量明显低于 ICRP 的数值有关。总之,我国成年人的缺钙问题应引起重视。

综上所述,本章论述了体内元素含量检测研究的重要性,检测方法及质量控制,并介绍了我国 100 例正常成年人 20 个器官组织中 15 种元素的浓度值与含量值,并呈现性别与地区的差异,不仅充实了我国正常成年人器官组织元素量的基础医学数据,从而为研究人体中微量元素与健康的关系提供了基本参数,也为辐射防护领域内放射性核素内剂量估算提供重要依据。鉴于我国正常成年人器官组织中多个元素的检测值与 ICRP 及亚洲一些人口众多国家报道的数值存在较多差异,为此,在编制亚洲参考人参数和即将修订 ICRP 参考人参数的工作中,提供我国上述元素的参数值是十分必要的,也是具有现实意义的。

(陈如松 尹协瑜)

参考文献

- 1 陈清,卢国瑾主编. 微量元素与健康,北京:北京大学出版社,1989
- 2 程义勇,蒋与刚编著. 生物医学微量元素数据手册. 天津:天津科学技术出版社,1994
- 3 ICRP. ICRP Publication 2. Report of committee I on permissible dose for internal radiation. Oxford: Pergamon Press, 1959
- 4 Tipton I H, Cook M I. Trace elements in human tissue. Part I. Health Physics, 1963, 9: 103-143

- 5 ICRP. ICRP Publication 23. Report of the task group on reference man. Oxford; Pergamon Press. 1975
- 6 Richmond C R. Radiation data wanted. *Nature*, 1985, 314(6008): 212
- 7 IAEA/RCA-95-03. Project formulation meeting for phase I of the reference asian man project. CRP on ingestion and organ content of trace elements of importance in radiological projection. Hitachinake city. Japan. 27 February-3 March, 1995
- 8 IAEA. Survey of reference, biological reference materials measured for trace elements. IAEA-TECDOC-(Volume 1). Vienna, 1995
- 9 Shiraishi K Tanaka G I, Kawamura H. Simultaneous multielement analysis of various human tissues of inductively-coupled plasma atomic-emission spectrometry. *Talanta*, 1986, 33(11): 861—865
- 10 Smonan S D, Joseph K T, Raut S J. Studies on major and trace element content in human tissues. *Health Physics*, 1970, 19(5): 641—656
- 11 Tipton I H, Schroeder H A, Perry H M. Trace elements in human tissue. Part I. Subject from Africa, the near and far east and Europe. *Health Physics*, 1965, 11: 403—451
- 12 Yukawa M. Concentration and distribution for elements in organs and tissues in dose assessment. November 1989, NIRS, Chiba, Japan, 59—72
- 13 O'Connor B H. Level and temporal trends of trace element concentrations in vertebral bone. *Archives of Environmental Health*, 1980, 35(1): 21
- 14 Tanaka G I, Kawamura H, Homura E. Reference Japanese Man- I. Distribution of strontium in the skeleton and in the mass of mineralized bone. *Health Physics*, 1981, 40(5): 601—619
- 15 Tanaka G I, Kawamura H. Anatomical and physiological characteristics for Asian reference man. National Institute of Radiological Sciences, NIRS M-115, 1996

第十二章 中国人体内某些放射性核素的代谢资料

人体摄入放射性物质后,这些物质将在各种机制作用下,不断在身体内转移、分布和排泄。为了内照射剂量学的目的,必须建立某种能定量地描述摄入体内的各种理化特性的放射性物质在人体身体内转移、分布和排泄行为的动力学模型,以计算出摄入放射性物质在人体各器官或组织的分布及其随时间的变化,进而计算出待积剂量(某一段时间内的累积剂量)。另外,在内照射监测中,其内照射剂量的评价量,某器官或组织 T 的待积当量剂量 $H_T(\tau)$ 、待积有效剂量 $E(\tau)$ 和摄入量 I ,都是难以直接测量的量。通常也必须采用上述建立的数学模型,将内照射测量的结果(诸如全身滞留量、全身某部位的滞留量、尿排量和粪排量等)换算为评价量 $H_T(\tau)$, $E(\tau)$ 和 I 。

元素在人体中的转移、分布和排泄是一个十分复杂的过程,它涉及到物理学、化学、解剖学和生理学等领域。因此准确地定量描述这一过程是很困难的。为此人们进行了大量的动物实验、离体实验和人体内代谢规律的观测等,以获得满足内照射剂量学的尽可能准确的描述元素在人体内的代谢规律。随着这一研究的不断发展,描述元素在人体内转移、分布和排泄的动力学模型也在逐步发展和完善。目前的动力学模型采用了便于求解的多库室数学模式。

1990~1996 年,ICRP 陆续推荐了描述吸入元素在呼吸道行为的新的呼吸道模型、描述吸收入体的元素在体(Systemic body)内行为的新的生物动力学模型。目前描述食入元素在胃肠道的行为仍沿用了 1978 年 ICRP 第 30 号出版物推荐的胃肠道模型。该胃肠道模型可能还待进一步完善,例如该胃肠道模型还不能较准确地描述早期(食入后的头几天)的粪排泄。

新的生物动力学模型大体上可分为两类。一类是给出体滞留分数函数,即

$$R(t) = \sum_i a_i e^{-k_i t}$$

一个指数项代表一个库室, a_i 表示进入 i 库室的份额, k_i 表示 i 库室的生物排出速率常数(d^{-1}), $k_i = \ln 2/T_i$, T_i 表示生物半排期(d)。体排泄速率函数则为体滞留函数的微分,即 $E(t) = R'(t)$ 。同时给出了尿排泄分数 F_u ,即尿排泄速率函数 $E_u(t) = F_u E(t)$,粪排泄速率函数 $E_F(t) = (1 - F_u)E(t)$ 。目前钴、锆、铌、钽、铯、铷等大多数元素采用这类生物动力学模型。另一类则是给出了明晰的具有循环的多库室模型及其参数。目前碘、铁、钙、镉、钡、镭、铅、铀、钍、镓、铟、铊、铜、镉、铟采用这类生物动力学模型。这类生物动力学模型给出了元素在所有各库的生物转移路径和各库间生物转移的速率常数,包括尿和粪的排泄库。每一个库都可用一阶微分方程来描述。即:

$$dN_i/dt = \sum_j k_{j \rightarrow i} N_j - \sum_j k_{i \rightarrow j} N_i \quad i=1,2,3 \cdots n$$

式中, N_i 和 N_j 分别为 i 库和 j 库元素的原子序数; $k_{j \rightarrow i}$ 为 j 库至 i 库的生物转移速率常数(d^{-1}); $k_{i \rightarrow j}$ 为 i 库至 j 库的生物转移速率常数(d^{-1})。上述这样一个微分方程组就描述了元素在人体内转移、分布和排泄的行为。

对于放射性核素只要将该元素的生物动力学模型再引入该核素的物理半衰期,即可得到该核素的动力学模型。

有关新的呼吸道模型在本书的有关章节中已有介绍,有关胃肠道模型在 ICRP 第 30 号出版物已有详细描述,不再赘述。本文主要介绍几例中国人体内氚、铍-铈、钆-铈、碘、铯、钷-镨、钷、铀、钷等元素的代谢资料,以及所涉及元素的 ICRP 最新推荐的生物动力学模型及其参数。

本文所报道的中国人的代谢资料是对一些意外摄入事件调查而得到的。由于某些事件的摄入模式不一定准确,某些内污染者使用了促排,因而引用时应特别注意它的不确定性。但无论如何这些代谢资料是宝贵的财富,它应归功于那些参与研究工作的全体科技工作者和那些被观测的内污染人员。

一、氚

1. 概 述

假定食入的氚化水(HTO)立即被胃肠道全部吸收,并迅速与全身体水混合,因此食入后的任何时刻,氚在汗水、痰、尿、血、不自觉的排汗以及呼出的水蒸气中的浓度都是相同的^[1]。

当人体暴露于氚化水污染的大气时,氚化水通过吸入和完好皮肤吸收两种途径被摄入人体内。假若空气中氚化水的浓度为 $C \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,经完好皮肤的吸收速率为 $10^{-2}C \text{ Bq} \cdot \text{min}^{-1}$ 。对于 $2 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 的速率呼吸空气的参考人,氚化水的吸入率为 $2 \times 10^{-2}C \text{ Bq} \cdot \text{min}^{-1}$,并假定被吸入的氚化水全都进入体液。于是氚化水进入体液的总吸收速率为 $3 \times 10^{-2}C \text{ Bq} \cdot \text{min}^{-1}$ ^[2]。

氚化水吸收入体液后迅速与全身体水混合,并有一小部分被组织结合,形成有机氚 OBT,这部分结合氚的滞留依赖于各器官或组织的代谢,但对于辐射防护仍可假定是全身均匀分布的^[3]。

当食入氚标记的有机化合物时,胃肠道内有相当部分的有机化合物断键形成氚化水。氚的有机化合物经过肠道以后也可以分解成氚化水。因此吸收入体的氚有一部分已转变为氚化水 HTO,另一部分则仍为有机氚 OBT。吸收入体的 OBT 中,附着在氧、硫、氮或磷上的氚,一般很容易与体水中的氢进行交换。然而结合到碳键上的氚,通常只有当碳原子所在的分子发生酶传递断裂之后才能被释放。这种代谢断裂的速率,对于许多小分子可能很迅速,而对于结合到像胶原这样结构的蛋白质中,或者在某些神经细胞的磷脂中的碳结合氚则可能极慢。由于人类饮食的各种分子成分中,OBT 的确切比例是未知的,因而可假定,进入血液中的 OBT,其 50% 具有氚化水滞留主要组分相同的代谢行为,另 50% 是与碳形成键结合,服从碳的一般代谢行为^[3]。

早期的事例报道,体氚的滞留曾有用三项指数函数之和来描述。1979 年 ICRP 第 30 号出版物推荐用一项指数函数来描述,其生物半排期为 10d。1990 年 ICRP 第 56 号出版物推荐用二项指数函数之和来描述,其生物半排期分别为 10d 和 40d。

2. 中国人的体代谢资料

我国多年来积累了 99 例工作人员在急性摄入氚化水情况下的尿氚排泄资料^[4]。分析结果表明,这 99 例工作人员体内氚的生物半排期观测值的分布范围为 4.5~16d,平均值为 8.6d (标准差为 2.4d)。图 12.1 给出了这 99 例工作人员体内氚化水的生物半排期观测值的分布。

进一步分析这 99 例工作人员体内氚的生物半排期可以看出环境温度对半排期有影响。99 例工作人员中,49 例是在 5~10 月(夏、秋两季)摄入氚的,其生物半排期平均值为 8.1d (标准

差为 2.4d);另 50 例是在 1~4 月或 11~12 月(冬、春两季)摄入氟的,其生物半排期平均值为 9.1d(标准差为 2.2d)。经显著性检验,其差异显著。由此可见,高温季节体内氟排出较为迅速。这可以解释为较高的环境温度会加速人体的水代谢。

上述 99 例工作人员中有 8 例摄入氟化水量较大,对此进行了较长期的尿氟排泄观测。分析结果表明,体内氟的滞留分数可用下列两项指数函数之和来描述,即:

$$R(t) = Ae^{-0.693t/T_1} + Be^{-0.693t/T_2}$$

式中,第一个指数项近似地描述了氟化水的代谢;第二个指数项近似地描述了有机氟的代谢。

8 例氟化水摄入者的体内氟的生物滞留资料如表 12.1 所示^[5]。其中 A 为 0.9629~0.9978,平均值为 0.9850;T₁ 为 5.33~11.1d,平均值为 8.3d;B 为 0.0022~0.0371,平均值为 0.0150;T₂ 为 22.5~57.0d,平均值为 40d。

表 12.1 8 例氟化水摄入者的体氟滞留资料

例	A	T ₁ ,d	B	T ₂ ,d	追踪观测天数
1	0.9899	9.00	0.0101	42.5	150~200
2	0.9671	7.56	0.0329	22.5	150~200
3	0.9942	6.84	0.0058	48.5	150~200
4	0.9970	8.10	0.0030	46.5	150~200
5	0.9797	8.10	0.0203	37.0	150~200
6	0.9912	11.1	0.0088	57.0	150~200
7	0.9629	10.0	0.0371	26.4	150~200
8	0.9978	5.33	0.0022	36.1	150

另外我国还报道了一“特例”的尿氟排泄资料^[4]。在一次意外事件中,该例手部直接误接触了吸附有氟的金属元件和蘸有乙醇的氟污染了的废脱脂棉。对其观测得到的尿氟排泄资料如图 12.2 所示。分析结果表明在最初几天内尿氟的排泄速率很高,其半排期大约为 0.2~0.4d,4 天后尿氟排泄速率变慢,其半排期为 8.9d。进一步分析表明,该例通过皮肤吸收入体的氟,其先质主要是氟的某种有机化合物,很可能是氟乙醇。

3. ICRP 推荐的体代谢资料

1990 年 ICRP 第 56 号出版物推荐的摄入氟化水和有机氟的体滞留分数函数为^[3]:

$$R(t) = Ae^{-0.693t/T_1} + Be^{-0.693t/T_2}$$

式中,t 为摄入后的时间,d。第一个指数项近似地描

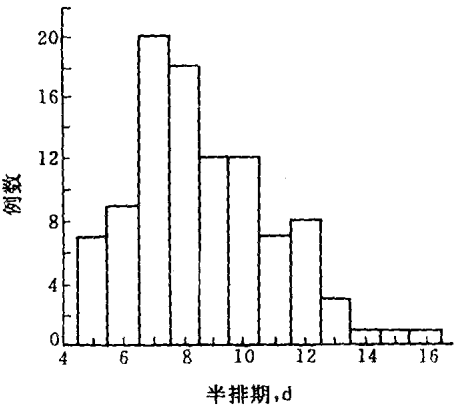


图 12.1 99 例工作人员体内氟化水生物半排期观测值的分布

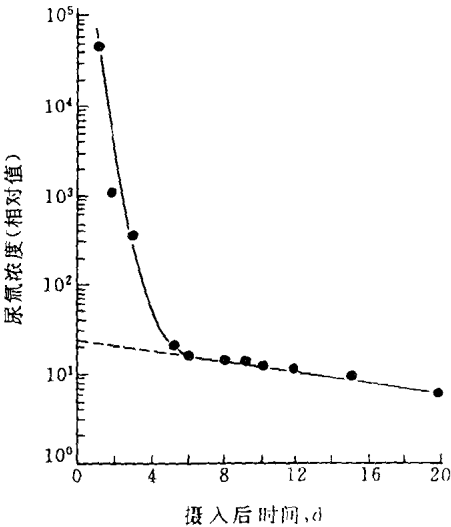


图 12.2 一“特例”工作人员的尿氟排泄曲线

述了HTO库, A 为分数, T_1 为生物半排期, d ; 第二个指数项近似地描述了OBT库, B 为分数, T_2 为生物半排期, d . T_1 可根据日水平衡量和全身体水量算得. $T_1 = \ln 2 \cdot \text{全身体水量} / \text{日水平衡量}$. T_2 可根据日碳平衡量和全身碳量算得. $T_2 = \ln 2 \cdot \text{全身碳量} / \text{日碳平衡量}$.

ICRP 第 56 号出版物推荐的摄入氟化水和有机氟的生物动力学资料分别如表 12.2 和表 12.3 所示。

表 12.2 氟化水的生物动力学资料^[3]

年龄	f_1	全身分布, %		生物半排期, d	
		A 库	B 库	A 库	B 库
3 个月	1	97	3	3.0	8
1 岁	1	97	3	3.5	15
5 岁	1	97	3	4.6	19
10 岁	1	97	3	5.7	26
15 岁	1	97	3	7.9	32
成人	1	97	3	10.0	40

表 12.3 有机氟的生物动力学资料^[3]

年龄	f_1	全身分布, %		生物半排期, d	
		A 库	B 库	A 库	B 库
3 个月	1	50	50	3.0	8
1 岁	1	50	50	3.5	15
5 岁	1	50	50	4.6	19
10 岁	1	50	50	5.7	26
15 岁	1	50	50	7.9	32
成人	1	50	50	10.0	40

二、锆和铌

1. 概 述

^{95}Zr - ^{95}Nb 是铀裂变产物中主要核素之一。 ^{95}Zr - ^{95}Nb 为 γ 辐射体, 其物理半衰期分别为 63.98d 和 35.15d。 ^{95}Zr 发射的光子能量(0.724MeV 和 0.7578MeV)和 ^{95}Nb 发射的光子能量(0.766MeV)相当接近, 用 NaI(Tl) 闪烁 γ 谱仪难以将它们区分。锆和铌在人体内的代谢规律差异较大。同时, 摄入 ^{95}Zr - ^{95}Nb 在人体内的代谢规律如何处理, 是一个值得注意的问题。

2. 中国人的体代谢资料

一例工作人员, 意外主要经伤口摄入了 ^{95}Zr - ^{95}Nb 的平衡体^[6]。事后 56~248 天, 采用 NaI(Tl) 闪烁探头的全身计数器进行了体内滞留量的观测, 其结果如图 12.3 所示。事后 33~210 天, 还利用 NaI(Tl) 闪烁探头的 γ 谱仪进行了尿、粪中 ^{95}Zr - ^{95}Nb 的排泄率观测, 其结果如图 12.4 所示。事后也曾对该内污染者使用过一些促排药物, 如图 12.4 所示。分析结果表明用噻胺酸促排时, 可使 ^{95}Zr - ^{95}Nb 的排泄量增加 2~9 倍, 其它药物无明显促排效果。

促排药物: R_1 , 普鲁士蓝; R_2 , 褐藻酸钠; R_3 , DTPA- CaNa_2 ; R_4 , “811”; R_5 , DTPA-Zn。

从图 12.3 的资料分析表明, 体内 ^{95}Zr - ^{95}Nb 的滞留函数为:

$$R(t) = 3.876 \times 10^4 e^{-0.693t/52}$$

式中, $R(t)$ 为第 t 天体内 ^{95}Zr - ^{95}Nb 的滞留量, Bq。

从图 12.4 的资料分析表明, 尿和粪的 ^{95}Zr - ^{95}Nb 日排量分别可用下列函数来描述:

$$E_u(t) = 397e^{-0.693t/14} + 147e^{-0.693t/38}$$

$$E_f(t) = 86e^{-0.693t/12} + 10e^{-0.693t/60}$$

式中, $E_u(t)$ 和 $E_f(t)$ 分别为第 t 天尿和粪的 ^{95}Zr - ^{95}Nb 日排量, Bq/d。

事后 33~210 天的平均日尿 ^{95}Zr - ^{95}Nb 排量与日粪 ^{95}Zr - ^{95}Nb 排量之比为 7.7 : 1。

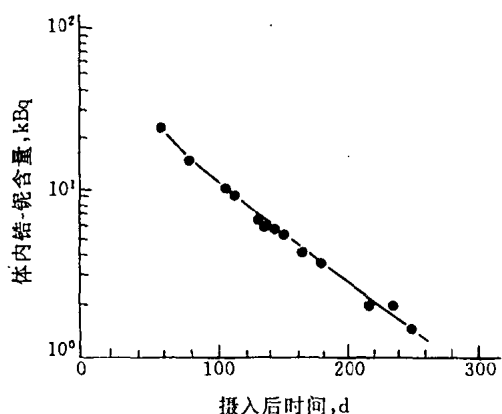


图 12.3 一例内污染者体内 ^{95}Zr - ^{95}Nb 的滞留曲线

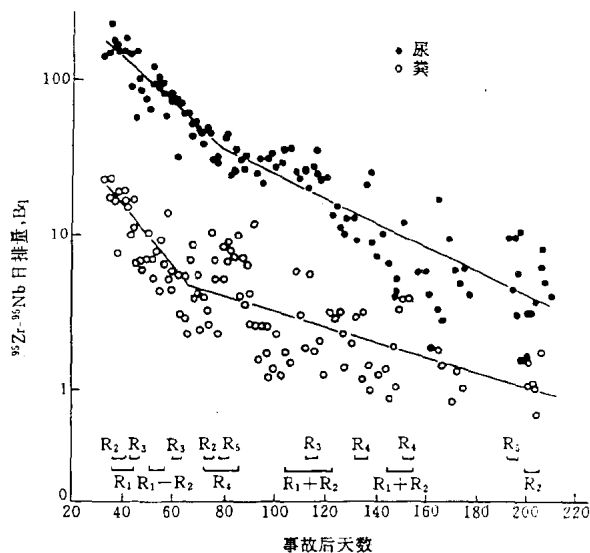


图 12.4 一例内污染者的尿和粪 ^{95}Zr - ^{95}Nb 日排量曲线

3. ICRP 推荐的体代谢资料

1994 年 ICRP 第 67 号出版物推荐的锆和铌在体内分布和滞留的生物动力学资料分别如表 12.4 和表 12.5 所示^[7]。并推荐吸收入体的锆和铌的尿粪排泄之比均为 5 : 1。

表 12.4 锆的生物动力学资料^[7]

年龄	f_1	分布, %		生物半排期, d	
		骨	其余组织	骨	其余组织
3 个月	0.02	50	50	100	7
1 岁	0.01	50	50	300	7
5 岁	0.01	50	50	500	7
10 岁	0.01	50	50	1000	7
15 岁	0.01	50	50	1500	7
成人	0.01	50	50	10000	7

表 12.5 铌的生物动力学资料^[7]

年龄	f_1	分布, %				生物半排期, d	
		骨	肝	肾	其余组织	骨	其余组织
3 个月	0.002	60	15	2	23	6	200
1 岁	0.01	50	18	2	30	6	200
5 岁	0.01	50	18	2	30	6	200
10 岁	0.01	40	20	3	37	6	200
15 岁	0.01	40	20	3	37	6	200
成人	0.01	40	20	3	37	6	200

三、钚

1. 概 述

^{106}Ru - ^{106}Rh 是铀裂变产物中主要核素之一。 ^{106}Ru 的物理半衰期为 368.2d, ^{106}Rh 为 29.9s。人体摄入 ^{106}Ru - ^{106}Rh 后, 由于 ^{106}Rh 的半衰期如此之短, 以致在人体所有各器官或组织中 ^{106}Ru

和¹⁰⁶Rh都基本处于平衡状态。另外,目前似乎没有获得任一种哺乳动物体内铯的分布和滞留的有关资料,铯与钐的化学特性又相似,所以铯元素的代谢资料也可以采用钐的代谢资料。钐和铯都是全身均匀分布的元素。

2. 中国人的体代谢资料

一例工作人员,意外主要经伤口摄入了¹⁰⁶Ru-¹⁰⁶Rh^[8]。事后56天至1289天进行了全身测量,其结果如图12.5所示。分析结果表明,体内¹⁰⁶Ru-¹⁰⁶Rh的体生物滞留分数函数可用二个指数项函数之和来描述。一个指数项的分数为0.43,其生物半排期为44d;另一个指数项的分数为0.57,其生物半排期为915d。另外事后33天至230天还进行了尿和粪样品分析,结果表明平均日尿¹⁰⁶Ru-¹⁰⁶Rh与日粪¹⁰⁶Ru-¹⁰⁶Rh之比为9:1。

3. ICRP 推荐的体代谢资料

1994年ICRP第67号出版物推荐的钐在体内分布和滞留的生物动力学资料如表12.6所示^[7]。并推荐吸收入体的钐,其尿粪排泄之比为4:1。

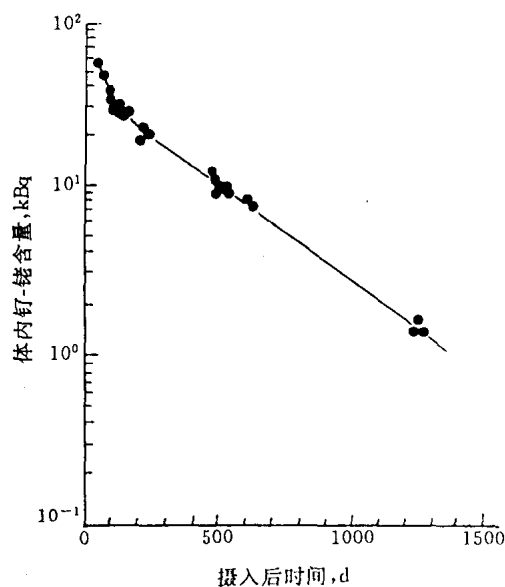


图 12.5 一例内污染者体内¹⁰⁶Ru-¹⁰⁶Rh的滞留曲线

表 12.6 钐的生物动力学资料^[7]

年龄	f_1	分布, %				生物半排期, d			
		A 库	B 库	C 库	直接排泄	全身			
						A 库	B 库	C 库	转移库
3 个月	0.1	35	30	15	15	8	35	1000	0.3
1 岁	0.05	35	30	15	15	8	35	1000	0.3
5 岁	0.05	35	30	15	15	8	35	1000	0.3
10 岁	0.05	35	30	15	15	8	35	1000	0.3
15 岁	0.05	35	30	15	15	8	35	1000	0.3
成人	0.05	35	30	15	15	8	35	1000	0.3

四、碘

1. 概 述

通常遇到的碘及其碘的化合物,无论是食入还是吸入,都易于被人体吸收。吸收入体液的碘在体内的代谢规律一般可用具有循环的三库室生物动力学模型来描述,如图12.6所示。吸收入血的碘,其中有 f 份额向甲状腺移位,其余的部分 $(1-f)$ 经尿排出体外,碘在血中的生物半排期为 T_a (速率常数 $\lambda_a = \ln 2/T_a$)。甲状腺中的碘将以 T_b 的生物半排期(速率常数 $\lambda_b = \ln 2/T_b$)滞留在甲状腺,并且以有机碘的形态从该腺体中失去。从甲状腺失去的有机碘将均匀地分布于除甲状腺以外的其余一切器官或组织中,并以 T_c 的生物半排期(速率常数 $\lambda_c = \ln 2/T_c$)滞留在这些器官或组织中。这些器官或组织中的碘有 e 的份额直接经粪排出体外,而其余部分 $(1$

-e)以无机碘的形态返回到血液。如此不断地循环,并不断地经尿和粪途径排出体外。

2. 中国人的体代谢资料

ICRP 第 30 号出版物对碘在人体内的代谢采用了如图 12.6 的具有循环的三库室模型,由描述该模型的一组一阶微分方程可解得碘在甲状腺中的生物滞留分数函数为:

$$R_{\text{甲}}(t) = -3.3 \times 10^{-1}e^{-2.854t} + 1.8 \times 10^{-2}e^{-0.06124t} + 3.1 \times 10^{-1}e^{-0.00582t}$$

与上述生物转移速率常数对应的生物半排期分别为 0.24d,11.3d 和 119d。

对 10 例口服¹³¹I 的正常成年人和 5 例意外摄入¹³¹I 的内污染者进行了甲状腺滞留量和尿粪排泄物分析,其中 5 例意外摄入者是在摄入 7 天后观测的,因而只能获得慢排泄成分的资料^[9]。分析结果表明,15 例成年人甲状腺中碘的生物滞留分数函数中三个指数项的系数的平均值分别为 0.28±0.10, 0.34±0.013,0.26±0.09;对应的生物半排期分别为 (0.25±0.05)d,(6.0±4.5)d,(137±55)d;其中 10 例成年人甲状腺的最大吸碘率平均值为 0.24±0.09;其中 14 例成年人的尿¹³¹I 日排量与总¹³¹I 日排量(尿和粪)比值的平均值第一天为 0.98±0.02,第 2~5 天为 0.94±0.03,第 6 天以后为 0.88±0.06。

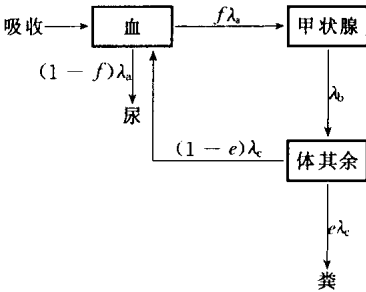


图 12.6 碘代谢的生物动力学模型

图 12.7 给出了一例正常成年人单次食入¹³¹I 后,甲状腺¹³¹I 的滞留分数随时间的变化曲线。

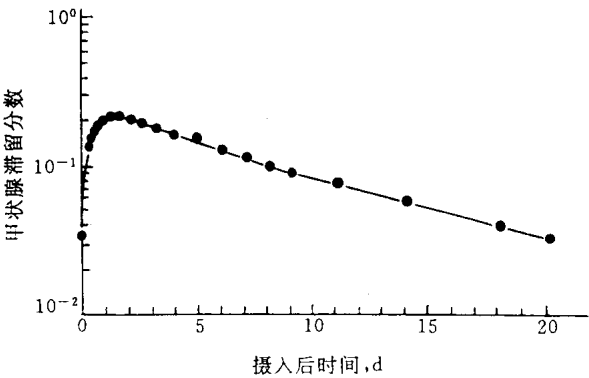


图 12.7 一例正常成年人单次食入¹³¹I 的甲状腺滞留曲线

我国部分省、市、地区正常人甲状腺吸¹³¹I 率及尿¹³¹I 排出的调查资料见表 12.7^[10]。从表 12.7 的资料可以看出,24 小时甲状腺吸¹³¹I 率在 19%~40%之间,其平均值为 32%。

3. ICRP 推荐的体代谢资料

1994 年 ICRP 第 67 号出版物^[7]推荐的碘在体内分布和滞留的生物动力学模型如图 12.6 所示。其生物动力学资料如表 12.8 所示。

表 12.7 我国部分省、市、地区正常人甲状腺吸¹³¹I 率及尿¹³¹I 排出资料

作者	地区	例数	不同时间, h 甲状腺吸 ¹³¹ I 率, %					0~48h 尿 ¹³¹ I 排出率, %
			2	4	6	24	48	
京、沪、穗训练班	京、沪、穗	119	13.3±5.3	17.7±6.7	24.6±7.6	36.2±9.6	35.2±1.0	44.4
北京同仁医院	北京	140	15.2±5.0	22.0±6.4	27.0±7.6	36.4±7.8		40.6
周前等	北京	20	10.9±3.8	15.5±4.6	19.8±4.4	26.5±5.1		
天津训练班	天津	108	11.6±5.2	16.4±6.8	21.4±8.9	33.4±7.7	34.5±7.9	45.2
卢佩章等	天津	104	11.3±5.2	16.6±6.8	21.1±8.9	34.0±4.5	34.6±9.4	47.7

(续表)

作者	地区	例数	不同时间, h 甲状腺吸 ¹³¹ I 率, %					0~48h 尿 ¹³¹ I 排出率, %
			2	4	6	24	48	
赵惠扬等	上海	40	16.4±8.1	21.3±9.7	24.6±11.8	31.5±12.4		
赵惠扬等	上海	26	11.8±4.4	16.9±6.2		35.1±9.0		
徐家格等	上海	95	13.6±5.3	18.4±6.2	22.7±9.6	34.3±6.4		
张忠拜等	南京	28	16.4±9.2		30.6±14.4	40.3±13.6		
包金良等	浙江	80	9.5±4.5	13.3±6.0	14.7±6.4	24.5±9.8		52.5
朱寿彭等	甘南	270	11.5±4.6	17.8±5.7	21.5±7.8	31.4±7.3	29.2±7.2	39.4
许志奇等	成都	100	6.3±2.4	9.3±3.4	11.8±4.3	18.7±4.9	19.0±5.2	56.7

表 12.8 碘的生物动力学资料^[7]

年龄	f_1	沉 积, %			生物半排期, d		
		甲状腺吸收	直接尿排泄	体其余的粪排泄	血	甲状腺	体其余
		f	$1-f$	e	T_a	T_b	T_c
3 个月	1	30	70	20	0.25	11.2	1.12
1 岁	1	30	70	20	0.25	15	1.5
5 岁	1	30	70	20	0.25	23	2.3
10 岁	1	30	70	20	0.25	58	5.8
15 岁	1	30	70	20	0.25	67	6.8
成人	1	30	70	20	0.25	80	12

五、铯

1. 概 述

通常遇到的铯的简单离子化合物(硫酸盐、硝酸盐和盐酸盐),不论是吸入还是食入,都极易被人体吸收入体液。然而掺入其它难溶性基质的铯,其吸收就不那么容易了,人体的吸收将取决于基质的理化特性。例如,动物实验表明,掺入熔融铝硅酸盐粒子的铯,仅有很少一部分被肺迅速吸收入体液,大部分将滞 在肺中,吸收得很慢,其吸收速率大约为 0.001d⁻¹量级。

吸收入体的铯基本上是全身均匀分布,肌肉中的铯浓度略高。铯在体内的代谢规律一般可用两个指数项函数之和来描述,即一个快排泄库,一个慢排泄库。快排泄库的分数为 0.1,其生物半排期为 2d;慢排泄库的分数为 0.9,其生物半排期 110d;尿粪排泄之比为 4:1。

2. 中国人的体代谢资料

对 16 例意外摄入¹³⁷Cs 的人员进行了观测,其观测结果如表 12.9 所示^[11]。由于观测是在事后数天进行的,因此只能得到慢排泄库的资料。

从表 12.9 的资料可以看出,12 例成年人的自然排泄的生物半排期最短的为 50d,最长的为 124d,其平均值为 82d;儿童 的生物半排期将小于成年人;3 例成年人的自然排泄的尿粪比平均值为 3.5:1。

3. ICRP 推荐的体代谢资料

1994 年 ICRP 第 67 号出版物^[7]推荐的铯在体内分布和滞留的生物动力学资料如表 12.10 所示;吸收入体的铯基本上是全身均匀分布,肌肉中的铯浓度略高;其尿粪排泄比为 4:1。

表 12.9 16 例中国人体内¹³⁷Cs 的生物半排期

例 号	性 别	年 龄, 岁	体 重, kg	自然排泄期的 生物半排期, d	促排期的 生物半排期, d	自然排泄期 的尿粪比
1	男	36	58.5	89		4 : 1
2	男	36		50		
3	男	32		110		
4	男	成人		90	61	2.8 : 1
5	男	38	55	124	38	
6	女	34	56	54	39	4 : 1
7	男	11	34	61	25	
8	男	8	24	36	17	2.4 : 1
9	男	4	13.5	36	16	2.8 : 1
10	男	41			70	
11	男	44	67	71	43	
12	男	23	69	54	48	
13	男	32	60	60	29	
14	男	42	80	123	61	
15	男	35	85	101	65	
16	女	44	50	62	28	

表 12.10 铯的生物动力学资料^[7]

年 龄	f_1	分布, %		生物半排期, d	
		A 库	B 库	A 库	B 库
3 个月	1	—	100	—	16
1 岁	1	—	100	—	13
5 岁	1	45	55	9.1	30
10 岁	1	30	70	5.8	50
15 岁	1	13	87	2.2	93
成人	1	10	90	2	110

六、钷

1. 概 述

人体内钷的代谢资料目前甚少。所采用的代谢模型及代谢资料主要还是由动物实验资料推定的。一般认为吸收入体的钷分布于骨、肝和其余组织,其生物半排期均为 3500d,尿粪排泄比为 1 : 9,即主要经粪排出体外。沉积在骨中的钷假定均匀分布在骨表面。

¹⁴⁴Ce-¹⁴⁴Pr 是铈裂变产物中主要核素之一。¹⁴⁴Ce 的物理半衰期为 284.3d,其子体¹⁴⁴Pr 的物理半衰期为 17.28min,因此人体内所有各器官或组织中¹⁴⁴Ce 与¹⁴⁴Pr 都基本处于平衡状态。

2. 中国人的体代谢参数

一例工作人员,意外主要经伤口摄入了¹⁴⁴Ce-¹⁴⁴Pr^[8]。摄入后 56~1289 天进行了全身测量,其结果如图 12.8 所示。分析结果表明,体内¹⁴⁴Ce-¹⁴⁴Pr 的体生物滞留分数函数可用二个指数项函数之和来描述。一个指数项的分数为 0.48,其生物半排期为 93d;另一个指数项的分数为 0.52,其生物半排期为 1900d。对该例的尿和粪排泄物样品分析结果表明,尿粪排泄之比

1:3。

3. ICRP 推荐的体代谢资料

1994 年 ICRP 第 67 号出版物^[7]推荐的描述钷在体内分布和滞留的生物动力学资料,如表 12.11 所示;吸收入体的钷,其尿粪排泄之比为 1:9;沉积在骨中的钷均匀分布在骨表面。

表 12.11 钷的生物动力学资料^[7]

年 龄	f_1	分布, %			生物半排期, d		
		骨	肝	其余组织	骨	肝	其余组织
3 个月	5×10^{-3}	70	10	20	3500	3500	3500
1 岁	5×10^{-4}	50	30	20	3500	3500	3500
5 岁	5×10^{-4}	50	30	20	3500	3500	3500
10 岁	5×10^{-4}	40	40	20	3500	3500	3500
15 岁	5×10^{-4}	40	40	20	3500	3500	3500
成人	5×10^{-4}	30	50	20	3500	3500	3500

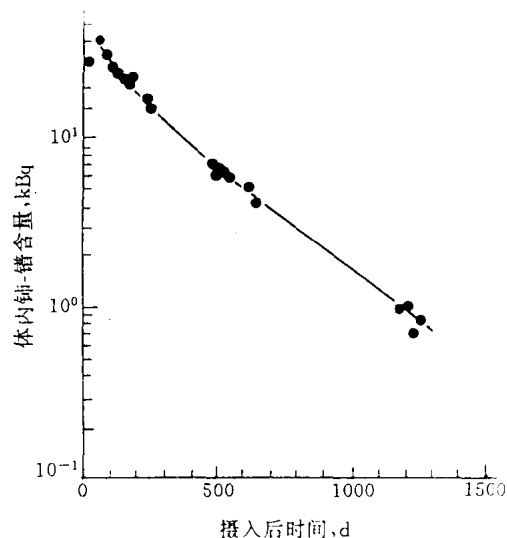


图 12.8 一例工作人员体内¹⁴⁴Ce-¹⁴⁴Pr 的滞留曲线

七、钷

1. 概 述

吸收入体的钷,沉积在肝、骨、脾、红骨髓和其他器官或组织中,并且与血结合,很可能结合在红细胞上。许多人的排泄资料表明,体钷的生物滞留分数可用下列函数来描述:

$$R(t) = e^{-0.693t/50}$$

式中, $R(t)$ 为吸收入体后第 t 天的滞留分数。

2. 中国人的体代谢资料

3 例工作人员意外急性吸入了钷气溶胶粒子^[12]。钷粒子的化学形态很可能是钷的氯化物。采用大流量撞击式采样器于污染后模拟事件情景,测量了²¹⁰Po 气溶胶粒子的粒径,其结果 Δ -MAD 为 $0.2 \mu\text{m}$ 。事后 1~90 天进行了大量的尿粪排泄物分析,由此资料推导出体钷的生物滞留分数函数,其结果如表 12.12 所示。从表 12.12 的资料可以看出,快排泄库很可能反映了肺钷的廓清;慢排泄库很可能反映了体钷的代谢。

表 12.12 3 例内污染人员体钷的生物滞留资料

例 号	快排泄库		慢排泄库	
	分数	生物半排期, d	分数	生物半排期, d
6211C22	0.82	0.7	0.18	48.7
7804C01	0.49	1.0	0.51	50.5
7912C01	0.60	1.5	0.40	41.6
平均	0.64	1.1	0.36	46.9

3. ICRP 推荐的体代谢资料

1994 年 ICRP 第 67 号出版物^[7]推荐的描述钷在体内分布和滞留的生物动力学资料如表

12.13 所示;吸收人体的钋其尿粪排泄之比为 1:2。

表 12.13 钋的生物动力学资料^[7]

年 龄	f_1	分布, %					生物半排期, d
		肝	肾	脾	红骨髓	其余组织	所有组织
3 个月	1.0	30	10	5	10	45	50
1 岁	0.5	30	10	5	10	45	50
5 岁	0.5	30	10	5	10	45	50
10 岁	0.5	30	10	5	10	45	50
15 岁	0.5	30	10	5	10	45	50
成人	0.5	30	10	5	10	45	50

八、铀

1. 概 述

铀广泛存在于天然环境中。铀既是核工业最基本的原料,又是核动力的燃料。因而铀在人体内的代谢规律被辐射防护和环境保护人员普遍关注。随着铀在人体内代谢规律研究资料的不断增加,研究工作的不断深入,铀在体内分布和滞留的生物动力学模型也得到不断完善。60~70 年代,一般采用幂函数形式来描述铀在体内的滞留和排泄。铀吸收人体后,在 24h 内,尿中将排出其二分之一至四分之三;其后的生物滞留分数函数为 $R(t)=0.2t^{-0.5}$ (对于 $t>1$ 天);生物尿排泄分数函数 $E_u=0.8$ (第一天), $E_u(t)=0.1t^{-1.5}$ ($t>1$ 天)。80 年代,一般采用多指数项函数之和来描述。铀吸收人体之后,假定 0.2 和 0.023 的份额沉积到无机骨,并分别以 20d 和 5000d 的生物半排期从无机骨排出;假定 0.12 和 0.00052 的份额沉积到肾,并分别以 6d 和 1500d 的生物半排期从肾排出;假定 0.12 和 0.00052 的份额沉积到身体的所有其余组织,并分别以 6d 和 1500d 的生物半排期从其余组织排出,并假定铀均匀地分布于这些其余组织中;进入体液的其余铀假定直接排出,其生物半排期为 0.3d;吸收人体的铀经粪的排泄是微少的,因而可假定全部经尿排出体外。90 年代以来,吸收人体的铀在体内的代谢规律采用了具有循环的多库室的生物动力学模型来描述,并且明晰地表明了尿和粪的排出行径。详细叙述见下文“ICRP 推荐的体代谢资料”段。

2. 中国人的体代谢资料

一例工作人员 L,由烧伤的皮肤急性摄入了硝酸铀铀和氧化铀(天然铀)的混合物^[13]。事后进行了 13 年的追踪观测。尿铀日排量的测量结果如图 12.9 所示。由图 12.9 的资料分析可得到,其尿铀排泄函数为:

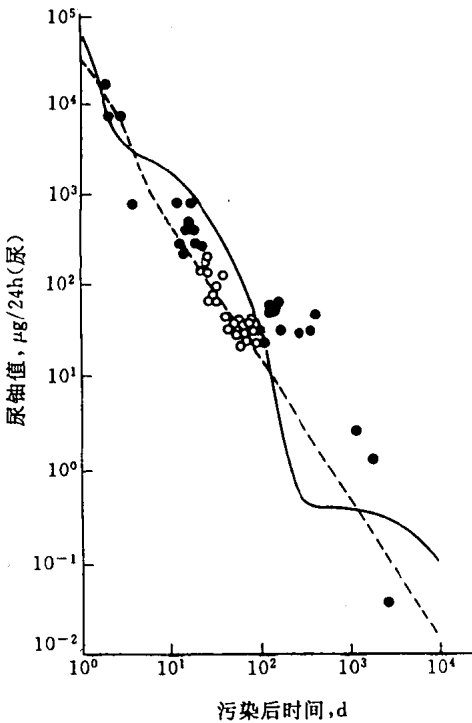


图 12.9 L 的尿铀日排量随时间的变化
○——ICRP 第 30 号出版物的模型
●——ICRP 第 10 号出版物的模型

$$E_u(t) = 25.0e^{-0.753t} + 13.5t^{-1.437} \quad t > 1 \text{ 天}$$

式中, $E_u(t)$ 为摄入后第 t 天的日尿铀排量, mg/d。

由图 12.9 的资料可以看出, 日尿铀排量基本符合 ICRP 第 10 号出版物推荐的幂函数形式 [$E_u(t) = t^{-1.5} \quad t > 1 \text{ 天}$], 也基本符合 ICRP 第 30 号出版物推荐的多指数项函数形式。

3. ICRP 推荐的体代谢资料

1995 年 ICRP 第 69 号出版物^[14]推荐的描述铀在体内分布和滞留的生物动力学模型如图 12.10 所示, 其生物动力学资料如表 12.14 所示。

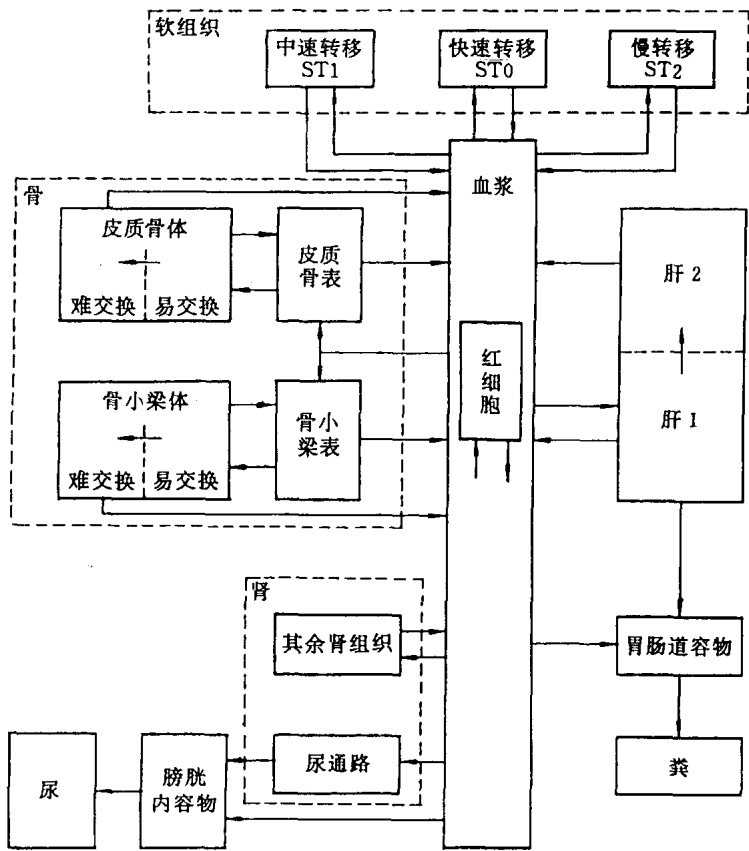


图 12.10 铀的生物动力学模型^[14]

表 12.14 铀的生物动力学资料^[14]

生物廓清速率, d	3 月	1 岁	5 岁	10 岁	15 岁	成人
血浆至 ST0	1.050E+01	1.050E+01	1.050E+01	1.050E+01	1.050E+01	1.050E+01
血浆至 RBC	1.590E-01	2.100E-01	2.190E-01	1.910E-01	1.600E-01	2.450E-01
血浆至膀胱	9.990E+00	1.326E+01	1.380E+01	1.206E+01	1.010E+01	1.543E+01
血浆至肾尿路	1.900E+00	2.520E+00	2.630E+00	2.300E+00	1.920E+00	2.940E+00
血浆至其余肾组织	7.900E-03	1.050E-02	1.100E-02	9.600E-03	8.000E-03	1.220E-02
血浆至上段大肠内容物	7.900E-02	1.050E-01	1.100E-01	9.600E-02	8.000E-02	1.220E-01
血浆至肝 I	2.830E-01	3.160E-01	3.290E-01	2.870E-01	2.400E-01	3.670E-01
血浆至 ST1	1.050E+00	1.400E+00	1.460E+00	1.270E+00	1.070E+00	1.630E+00

(续表)

生物廓清速率,d	3月	1岁	5岁	10岁	15岁	成人
血浆至ST2	4.760E-02	6.310E-02	6.570E-02	5.740E-02	4.810E-02	7.350E-02
血浆至骨小梁表	2.200E+00	1.320E+00	1.310E+00	2.070E+00	3.030E+00	2.040E+00
血浆至皮质骨表	8.820E+00	5.290E+00	4.570E+00	6.160E+00	7.840E+00	1.630E+00
ST0至血浆	8.320E+00	8.320E+00	8.320E+00	8.320E+00	8.320E+00	8.320E+00
RBC至血浆	3.470E-01	3.470E-01	3.470E-01	3.470E-01	3.470E-01	3.470E-01
其余肾组织至血浆	3.800E-04	3.800E-04	3.800E-04	3.800E-04	3.800E-04	3.800E-04
肝1至血浆	9.200E-02	9.200E-02	9.200E-02	9.200E-02	9.200E-02	92.00E-02
肝2至血浆	1.900E-04	1.900E-04	1.900E-04	1.900E-04	1.900E-04	1.900E-04
ST1至血浆	3.470E-02	3.470E-02	3.470E-02	3.470E-02	3.470E-02	3.470E-02
ST2至血浆	1.900E-05	1.900E-05	1.900E-05	1.900E-05	1.900E-05	1.900E-05
骨表至血浆	6.930E-02	6.930E-02	6.930E-02	6.930E-02	6.930E-02	6.930E-02
难交换骨小梁体至血浆	8.220E-03	2.880E-03	1.810E-03	1.320E-03	9.590E-04	4.930E-04
难交换皮质骨体至血浆	8.220E-03	2.880E-03	1.530E-03	9.040E-04	5.210E-04	8.210E-05
肾尿路至膀胱	9.900E-02	9.900E-02	9.900E-02	9.900E-02	9.900E-02	9.900E-02
肝1至肝2	6.930E-03	6.930E-03	6.930E-03	6.930E-03	6.930E-03	6.930E-03
骨表面至易交换骨体	6.930E-02	6.930E-02	6.930E-02	6.930E-02	6.930E-02	6.930E-02
易交换骨体至骨表面	1.730E-02	1.730E-02	1.730E-02	1.730E-02	1.730E-02	1.730E-02
易交换骨体至难交换骨体	5.780E-03	5.780E-03	5.780E-03	5.780E-03	5.780E-03	5.780E-03
f_1	4.000×10^{-2}	2.000×10^{-2}	2.000×10^{-2}	2.000×10^{-2}	2.000×10^{-2}	2.000×10^{-2}

九、钚

1. 概 述

钚是核军工的重要材料,又是核能的燃料之一,加之它存在于铀乏燃料之中,物理半衰期长(²³⁹Pu 为 24065a),对人的毒性大,因而钚在人体内的代谢规律被辐射防护和环境保护人员普遍关注。随着钚在人体内代谢规律研究资料的不断增加,研究工作的不断深入,钚在人体内分布和滞留的生物动力学模型也得到不断完善。50~60 年代,一般采用 Langham 公式来描述。日尿钚排泄分数的函数为 $E_u(t)=0.002t^{-0.74}$,其初始体负荷为 $D_0=500E_u(t)t^{0.74}$, [$E_u(t)$ 为摄入之后第 t 天的日尿钚排量]。70~80 年代,钚在体内的分布和滞留采用了多指数项函数。吸收入血的钚有 0.45 的份额沉积在肝中,其生物半排期为 20 年(较早曾取为 40 年);0.45 的份额沉积在骨中,其生物半排期为 50 年(较早曾取为 100 年);沉积在性腺的份额,男性为 3.5×10^{-4} ,女性为 1.1×10^{-4} ,沉积在性腺中的钚永久滞留在那儿。而体钚的排泄分数函数则采用 Durbin 公式,即尿钚排泄分数为:

$$\begin{aligned} E_u(t) = & 4.1 \times 10^{-3} \exp(-0.693 \frac{t}{1.2}) + 1.2 \times 10^{-3} \exp(-0.693 \frac{t}{5.5}) \\ & + 1.3 \times 10^{-4} \exp(-0.693 \frac{t}{42}) + 3.0 \times 10^{-5} \exp(-0.693 \frac{t}{300}) \\ & + 1.2 \times 10^{-5} \exp(-0.693 \frac{t}{4000}) \end{aligned}$$

粪钚排泄分数为:

$$E_f(t) = 6.0 \times 10^{-3} \exp(-0.693 \frac{t}{2.0}) + 1.6 \times 10^{-3} \exp(-0.693 \frac{t}{6.6})$$

$$+ 1.2 \times 10^{-4} \exp(-0.693 \frac{t}{56}) + 2.0 \times 10^{-5} \exp(-0.693 \frac{t}{380}) \\ + 1.2 \times 10^{-5} \exp(-0.693 \frac{t}{4000})$$

Durbin 公式是参照 Langham 等人所获得的钚排泄资料,以及动物资料推定的。

90 年代以来,描述钚在人体内分布和滞留,采用了 Leggett 的具有循环的多库室的生物动力学模型。该模型明晰地描述了钚在各库室间的转移行径,包括尿和粪排泄,给出了各库室间的生物转移速率常数。详细地描述见下述“ICRP 推荐的体代谢资料”段。

2. 中国人的体代谢资料

一例工作人员意外主要经伤口摄入了 $^{239}\text{PuO}_2$,同时也存在少量的吸入^[15]。事后第 21 天进行了手术切除,术后伤口钚残留量低于 37Bq。其后还进行了 DTPA 促排处置。事后进行了 12 年的追踪观测,其尿钚日排量的测量结果如图 12.11 所示。该例还在继续观测之中,因此未提供最终的代谢资料。但从图 12.11 的尿钚排泄资料可以看出,1000 天之后的尿钚日排量明显高于 Langham 公式所预期的值,似乎更符合 Leggett 生物动力学模型所预期的值。

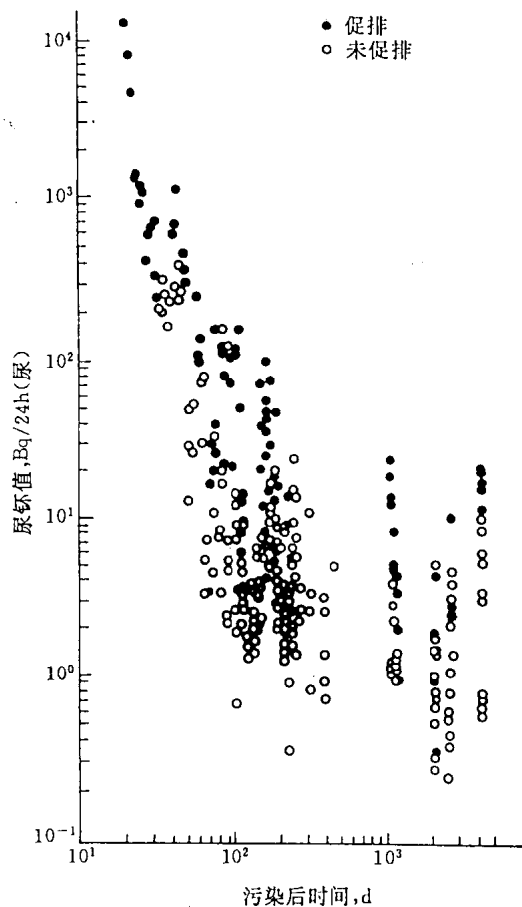


图 12.11 L 的尿钚排泄

3. ICRP 推荐的体代谢资料

1994 年 ICRP 第 67 号出版物^[7]推荐的描述钚在人体内分布和滞留的生物动力学模型如图 12.12 所示,其生物动力学资料如表 12.15 所示。

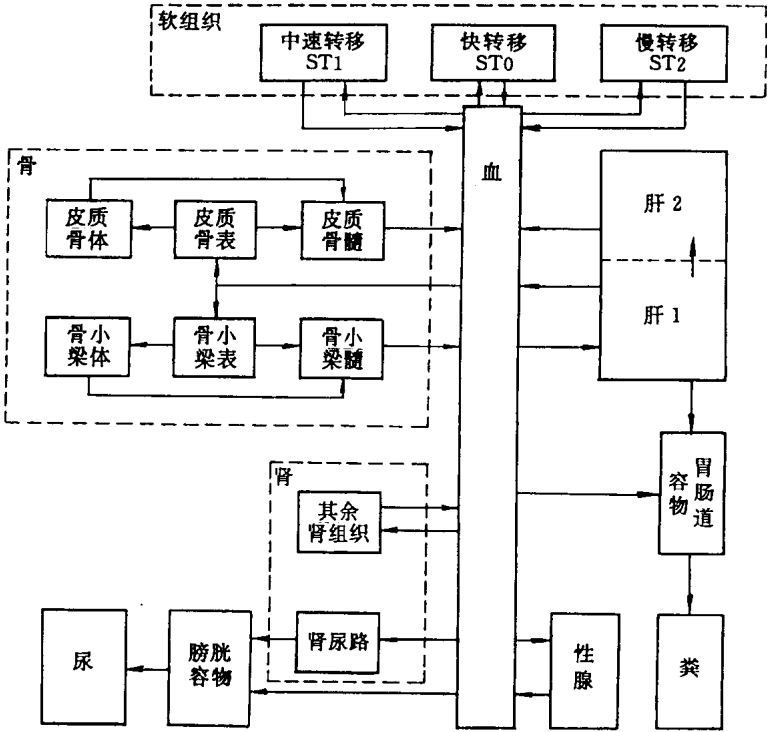


图 12.12 钚的生物动力学模型^[7]

表 12.15 钚的生物动力学资料^[7]

生物廓清速率, d ⁻¹	3 月	1 岁	5 岁	10 岁	15 岁	成人
血至肝 1	0.0647	0.0647	0.1294	0.1294	0.1294	0.1941
血至皮质骨表	0.2264	0.2264	0.1941	0.1941	0.1941	0.1294
血至小梁骨表	0.2264	0.2264	0.1941	0.1941	0.1941	0.1941
血至膀胱容量物	0.0129	0.0129	0.0129	0.0129	0.0129	0.0129
血至肾尿路	0.00647	0.00547	0.00647	0.00647	0.00647	0.00647
血至其余肾组织	0.00323	0.00323	0.00323	0.00323	0.00323	0.00323
血至上段大肠容量物	0.0129	0.0129	0.0129	0.0129	0.0129	0.0129
血至睾丸	0.000013	0.000019	0.000022	0.000026	0.00021	0.00023
血至卵巢	0.000008	0.000010	0.000026	0.000045	0.000078	0.000071
血至 ST0	0.2773	0.2773	0.2773	0.2773	0.2773	0.2773
血至 ST1	0.0806	0.0806	0.0806	0.0806	0.0806	0.0806
血至 ST2	0.0129	0.0129	0.0129	0.0129	0.0129	0.0129
ST0 至血	0.693	0.693	0.693	0.693	0.693	0.693
肾尿路至膀胱	0.01386	0.01386	0.01386	0.01386	0.01386	0.01386
其余肾组织至血	0.00139	0.00139	0.00139	0.00139	0.00139	0.00139
ST1 至血	0.000475	0.000475	0.000475	0.000475	0.000475	0.000475

(续表)

生物廓清速率, d^{-1}	3 月	1 岁	5 岁	10 岁	15 岁	成人
ST1 至膀胱容物	0.000475	0.000475	0.000475	0.000475	0.000475	0.000475
ST2 至血	0.000019	0.000019	0.000019	0.000019	0.000019	0.000019
骨小梁表至骨体	0.00822	0.00288	0.00181	0.00132	0.000959	0.000247
骨小梁表至骨髓	0.00822	0.00288	0.00181	0.00132	0.000959	0.000493
皮质骨表至骨体	0.00822	0.00288	0.00153	0.000904	0.000521	0.0000411
皮质骨表至骨髓	0.00822	0.00288	0.00153	0.000904	0.000521	0.0000821
骨小梁体至骨髓	0.00822	0.00288	0.00181	0.00132	0.000959	0.000493
皮质骨体至骨髓	0.00822	0.00288	0.00153	0.000904	0.000521	0.0000821
皮质/骨小梁髓至血	0.0076	0.0076	0.0076	0.0076	0.0076	0.0076
肝 1 至肝 2	0.00177	0.00177	0.00177	0.00177	0.00177	0.00177
肝 1 至小肠	0.000133	0.000133	0.000133	0.000133	0.000133	0.000133
肝 2 至血	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021
性腺至血	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019
f_1	0.005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005

(马如维 夏晓彬)

参 考 文 献

- 1 Pinson EA, Langham WH. Physiology and Toxicology of Tritium in Man. J Appl Physiol. 1957, 10: 108
- 2 国际放射防护委员会. 第 30 号出版物(第一部分). 工作人员的放射性核素摄入量限值. 方军, 董柳灿译. 北京: 原子能出版社, 1984
- 3 ICRP. ICRP Publication 56. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides; part 1. Oxford: Pergamon Press, 1990
- 4 黄建学, 任宝清, 晁德胜, 等. 氚污染工作人员体内氚排出规律的观察. 辐射防护, 1985, 5(2): 81
- 5 马如维, 金月如, 张秀珍. 氟化水摄入量-尿氟浓度换算因子的估算. 辐射防护, 1990, 10(1): 74
- 6 金月如, 马如维, 张秀珍, 等. 一例体内 ^{95}Zr - ^{95}Nb 的滞留及剂量估算, 辐射防护通讯, 1992, 6: 1
- 7 ICRP. ICRP Publication 67. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides; part 2. Oxford: Pergamon Press, 1994
- 8 李爱筠, 马如维, 金月如, 等. 一例 ^{239}Pu 及裂变产物内污染案例的剂量估算和医学处理. 过量受照人员临床医学. 北京: 原子能出版社, 1989. 51
- 9 张秀珍, 金月如, 马如维. 人体内碘代谢参数的实验研究. 中国辐射防护研究院年报, 1993. 77
- 10 刘国廉, 谢国良. 放射性碘的生物危害及医学防护. 北京: 中国环境科学出版社, 1989
- 11 周永增. 人体内 ^{137}Cs 的代谢. 辐射防护, 1993, 1(13): 24
- 12 白光. ^{210}Po 内污染案例. 过量受照人员临床医学. 北京: 原子能出版社, 1989. 39
- 13 李俊梅, 范积雄, 马如维, 等. 一例急性钋中毒的 13 年医学随访观察. 过量受照人员临床医学. 北京: 原子能出版社, 1989. 126
- 14 ICRP. ICRP Publication 69. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides; part 3. Oxford: Pergamon Press, 1995
- 15 李俊梅, 马如维, 张仲仁, 等. 大量伤口污染案例的医学处理及随访观察. 见: 孙世刚主编. 过量受照人员临床医学. 北京: 原子能出版社, 1989. 76

附录 亚洲参考人研究和 Tanaka 模型

一、亚洲参考人研究的主要结果

为加强亚太地区辐射防护基础结构建设,国际原子能机构(IAEA)自 1988 年起在亚洲组织了“编辑亚洲参考人解剖、生理和代谢参数”的合作研究项目。参加这一合作研究的有孟加拉国、中国、印度、印度尼西亚、日本、韩国、巴基斯坦、菲律宾和越南等国。为与正在修订的 ICRP 参考人内容、格式相一致,该项目规定调查对象包括男女从出生到成年各代表年龄组人口。调查内容、标准、方法、程序都按统一的规定进行。经过五年的合作调研,于 1993 年完成了第一阶段的工作,积累了大量的体格测量、器官重量、膳食组成、食物消费量和主要营养素、元素摄入量资料,以及一些生理和代谢参数资料。主要结果如下:

1. 体格测量

总的看来亚洲人的身高、体重等体格测量参数都明显低于西欧和北美。表 1 示主要成员国成年人身高、体重与 ICRP 修订参考人的比较。如亚洲成年男性平均身高 167cm,比修订的 ICRP 参考人 176cm 低 5.1%。体重 57.7kg 比 ICRP 参考人 73kg 低 21%。亚洲各成员国之间体格测量的参数相差也较大,如男性身高最高 170.6cm,最低 163.4cm,相差 7.2cm,体重最高 63.9kg,最小为 51.5kg,相差 12.4kg。根据其近似程度大致可分为两组,一组是中国、日本、韩国和巴基斯坦,男性平均身高为 168.6cm,体重为 62.4kg,女性身高为 156.4cm 体重 52.6kg,二组为孟加拉国、印度、菲律宾、越南,男女平均身高体重相应为 163.6cm、152.8cm 和 54.4kg 和 46.3kg。两组男性身高差值为 5.0cm,体重差值 8.0kg。女性身高差值为 3.6cm,体重差值 6.4kg。看来难以给出一个各国都可以接受的身高、体重的参考值^[1]。

表 1 “亚洲参考人”合作项目成员国成年人身高(cm)、体重(kg)测量值

性别	指标	中国	日本	韩国	巴基斯坦	孟加拉	印度	菲律宾	越南	中位数	ICRPRev ¹⁾
男	身高	169.2	167.8	166.8	170.6	163.9	163.4	163.4	163.8	167.0	176.0
	体重	58.3	63.6	63.8	63.9	57.8	51.5	56.6	51.8	57.7	73.0
女	身高	158.2	155.0	154.9	157.5	154.9	151.3	151.0	154.0	154.6	163.0
	体重	51.1	52.3	54.5	52.6	49.9	44.2	49.2	46.8	49.4	60.0

1) ICRP 修订参考人。

从中国、日本、韩国身高体重长期增长趋势的分析,说明经济快速发展,人民生活水平的提高,膳食的改善对体格生长发育有良好的影响。目前有些发展中国家人口身高、体重等参数较低,除民族、生活环境的差异外,也与这些国家中还有相当大部分人口因贫困具有不同程度的营养不良有关。

2. 器官重量

表 2 示各主要成员国成年人主要器官重量的测量值和与 ICRP 参考人的比较。从表 2 可

见亚洲人大多数器官的重量低于 ICRP 参考人。但按器官的相对重量(即占体重的百分数),则亚洲人的多数器官重于 ICRP 参考人如脑、心、肺、胰等(表 4)。除日本外,多数国家如:中国、越南、菲律宾、诸国人甲状腺的重量均大于 ICRP 参考人^[2]。

表 2 “亚洲参考人”合作项目成员国成年人主要器官重量(g)测量值

性别	器官	中国	印度	印度尼西亚	日本	韩国	菲律宾	越南	均值	ICRP
男	脑	1433	1236	1345	1442	—	1387	1321	1361	1400
	心	301	243	254	379	349	334	258	303	330
	肾	279	224	207	324	252	295	296	268	310
	肝	1357	1135	1156	1599	1864	1472	1418	1429	1800
	肺	1065	841	827	1170	1201	1049	680	976	1000
	脾	167	137	112	130	67	138	166	142	180
	胰	109	96	—	135	56	129	125	119	100
	甲状腺	27.4	19	17	19	—	22	35	23	20
女	脑	1317	1140	1203	1309	—	1321	1284	1262	1200
	心	267	211	217	310	302	288	230	261	240
	肾	260	207	192	279	228	293	276	248	275
	肝	1272	1051	1115	1345	1611	1361	1319	1296	1400
	肺	842	670	739	907	948	864	608	797	800
	脾	147	119	104	123	56	120	140	125	150
	胰	98	82	—	112	54	105	110	100	85
	甲状腺	27	—	18	17	—	30	36	25	17

3. 膳食组成,食物消费量和营养素、元素摄入量

表 3 示成员国成年人的每人每日的主要食物消费量。尽管各成员国的膳食组成和消费量不尽相同,但亚洲人膳食与西方人相比有其特点。主要是以素食为主,谷物和蔬菜的消费量较大,肉、蛋、奶和油脂等动物性食物的消费量明显低于西方人,热量的摄入量也低于西方人,且主要来源于植物性食物,一些少量和微量元素如 Zn, Cu 和 Ca 的摄入量也仅为 ICRP 参考人的四分之一到二分之一^[3]。

表 3 “亚洲参考人”合作项目成员国成年人主要食物消费量(克/每人每天)与 ICRP 参考人比较

食物	成员国	ICRP23	食物	成员国	ICRP23
谷类	171~520	207	蛋	2~46	47
坚果	35~144	—	奶	9~147	508
蔬菜	65~324	202	油脂	6~33	49
水果	26~165	184	糖	1~64	69
肉	9~147	228			

4. 生理和代谢参数

如肺功能和水平衡等由于难度较大,资料有限,难以形成有代表性的资料,有待进一步工作。

二、Tanaka 模型

ICRP 参考人工作组成员、日本国家放射线医学综合研究所亚洲参考人资料研究中心负责人 Gi-ichiro Tanaka 根据亚洲参考人项目成员国收集的资料(主要是日本、中国和印度的资料)。按照 ICRP 参考人工作组的基本概念和编辑方法推荐了亚洲参考人男女各代表年龄组的体格特性参数,即 Tanaka 模型。表 4 列出了 Tanaka 模型中成年人的主要参数并与中国参考人、日本参考人、印度参考人和 ICRP 参考人做了比较,由表 4 可见 Tanaka 模型与中国参考人,日本参考人接近而与印度参考人差别较大。

鉴于 Tanaka 模型较为系统和全面又与中国参考人基本一致,故在此附录中列出(表 5-10)^[4],以弥补当前资料的不足。

表 4 中国参考人与日本参考人、印度参考人、Tanaka 模型和 ICRP 参考人身高(cm)体重(g)和器官的重量(g)、相对重量(%)的比较

性 别	参 数	中国参考人		日本参考人		印度参考人		Tanaka 模型		ICRP23	
		值	%	值	%	值	%	值	%	值	%
男	身高	170.0		168.8		164.0		170.0		170.0	
	体重	60000	100.00	61500	100.00	52500	100.00	60000	100.00	70000	100.00
	脑	1460	2.43	1469	2.39	1250	2.38	1470	2.45	1400	2.00
	心	325	0.54	362	0.59	250	0.48	380	0.63	300	0.43
	肾	290	0.48	318	0.52	230	0.44	320	0.53	310	0.44
	肝	1410	2.35	1585	2.52	1175	2.24	1600	2.67	1800	2.57
	肺	1250	2.08	1151	1.87	870	1.66	1200	2.00	1000	1.43
	胰	120	0.20	129	0.21	100	0.19	130	0.22	100	0.14
	脾	165	0.28	141	0.23	140	0.27	130	0.22	180	0.26
	甲状腺	26	0.04	19	0.03	19	0.04	19	0.03	20	0.03
女	身高	158.0		156.4		151.0		160.0		160.0	
	体重	52000	100.00	51500	100.00	45000	100.00	51000	100.00	58000	100.00
	脑	1330	2.56	1331	2.58	1150	2.56	1320	2.59	1200	2.07
	心	290	0.56	306	0.59	220	0.49	322	0.64	240	0.41
	肾	260	0.52	278	0.54	210	0.47	282	0.56	275	0.46
	肝	1290	2.48	1358	2.64	1075	2.39	1368	2.68	1400	2.33
	肺	960	1.85	860	1.67	690	1.53	894	1.75	800	1.33
	胰	100	0.19	109	0.21	85	0.19	113	0.23	85	0.14
	脾	150	0.29	128	0.23	120	0.27	125	0.25	150	0.25
	甲状腺	24	0.05	17	0.03	18	0.04	17	0.03	17	0.03

表 5 亚洲参考人体格特性及所有器官和组织中的血液、水、矿物质、脂肪和蛋白的含量: 0 岁(3 个月)男、女^[4]

1 器官、组织或成分	2 原位置量, g		3 总血量, ml		4 无游离血管器 官重量, g		5 水, g		6 矿物质, g		7 脂肪, g		8 蛋白, g		9 比重	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
1. 体重	6000	6000	640	640	5322	5321.6	4300	4300	200	200	600	600	700	700	1.08	1.08
la 全部软组织	5400	5400			5400	5400	3600	3600	37	37	1000	1000	810	810		
lb 全部硬组织	600	600			600	600										
2. 脂肪组织	560	560	15	15	544	544	140	150	1.9	1.5	360	360	49	47	0.94	0.94
3. 皮下脂肪组织*	320	* 320	7.9	* 7.9	312	* 312	80	* 80	1.1	* 0.68	210	* 210	27	* 17	0.99	0.99
4. 其他可分离的脂肪组织*	200	* 200	6.3	* 6.3	193	* 193	52	* 52	0.7	* 0.7	130	* 130	18	* 27	0.94	0.94
5. 同隙的脂肪组织	40	40			40	40	13	13	0.16	0.1	24	24	4	4	0.94	0.94
6. 黄骨髓(骨髓)																
7. 肾上腺(2)*	4.3	* 4	0.3	* 0.3	4.0	* 3.7	3.1	* 2.9	*	*	0.5	* 0.5	0.4	* 0.3	1.04	1.04
8. 主动脉*	13	* 13		*	13	* 13	9.1	* 9.1	0.19	* 0.19	0.16	* 0.16	3.5	* 3.5		
9. 内容物*	24	* 24	23	* 23		*	20	* 20	0.24	* 0.24	0.13	* 0.13	4.4	* 4.4	1.08	1.08
10. 血液	680	680	640	640			550	550	6.5	6.6	4.5	4.8	120	120	1.08	1.08
11. 血浆	380	380					350	350	3.5	3.6	2.5	2.8	25	25	1.05	1.05
12. 红细胞	300	300					200	200	3	3	2	2	98	98	1.11	1.11
13. 血管*	26	* 26		*	26	* 26	20	* 20	0.16	* 0.16		*	6.1	* 6.1		
14. 内容物(除外主动脉和肺)*	320	* 320	300	* 300		*	260	* 260	3.1	* 3.1	2.1	* 2.2	58	* 58	1.08	1.08
15. 体脂	600	600			600	600					600	600			0.94	0.94
16. 基本的	80	80			80	80					80	80			0.94	0.94
17. 非基本的	520	520			520	520					520	520			0.94	0.94
18. 体液	4300	4300			4300	4300	4300	4300							1.02	1.02
19. 细胞外	1800	1800			1800	1800	1800	1800							1.02	1.02
20. 细胞内	2500	2500			2500	2500	2500	2500							1.02	1.02
21. 软骨(骨骼)	130	130			130	130	100	100	5.3	5.3	1.6	1.6	20	20	1.12	1.12
22. 结缔组织	410	410			410	410	260	260	17	17	4.1	4.1	150	150	1.22	1.22
23. 腱与筋膜	170	170			170	170	110	110	6.9	6.9	1.7	1.7	64	64	1.22	1.22
24. 关节周围组织	180	180			180	180	110	110	7.5	7.5	1.8	1.8	68	68	1.22	1.22
25. 其他结缔组织	60	60			60	60	39	39	2.6	2.6	0.6	0.6	21	21	1.22	1.22

54. 升结肠和盲肠	11	11		11	11	8.7	0.09	0.09	0.69	1.5	1.5	1.06	1.06
55. 横结肠	15	15		15	15	12	0.12	0.12	0.93	2	2	1.06	1.06
56. 下部大肠	21	21		21	21	17	0.17	0.17	1.4	1.8	1.8	1.06	1.06
57. 内容物	20	20		20	20								
58. 降结肠	11	11		11	11	8.7	0.09	0.09	0.74	0.47	0.47	1.06	1.06
59. 乙状结肠	7	7		7	7	5.6	0.06	0.06	0.43	0.91	0.91	1.06	1.06
60. 直肠	3	3		3	3	2.4	0.02	0.02	0.18	0.39	0.39	1.06	1.06
61. 头发*	0.2	* 0.2	*	0.2	* 0.2	0.02	0	0	0	0.18	* 0.18	1.32	1.32
62. 心脏*	37	* 33	8.8	* 8.8	28	22	0.1	0.1	3.5	* 3.4	* 1.9	1.05	1.05
63. 内容物(房室的)*	57	* 57	54	* 54	* 46	46	0.57	0.57	0.36	* 0.36	* 10	1.08	1.08
64. 肾(2)*	42	* 37	6.2	* 6.2	35	28	0.1	0.1	4.3	* 4.3	* 2.5	1.07	1.07
65. 喉*	4	* 4	*	*	4	2.7	0.12	0.12	*	*	*	1.10	1.10
66. 肝*	240	* 220	26	* 26	212	160	1.1	1	26	* 26	19	15	
67. 肺*	140	* 140	79	* 79	56	110	1.4	1.4	1.3	* 1.3	26	26	1.07
68. 肺实质(支气管树和 毛细血管血)	60	60	11	11	48	46	0.66	0.66	0.74	0.74	11	11	呼气后 0.26 吸气后
69. 血液(动脉和静脉)	80	80	75	75		64	0.77	0.78	0.53	0.56	15	15	1.02 1.08
70. 支气管树	4	4			4								
71. 淋巴细胞	190	190			190								
72. 淋巴组织	85	85			85								
73. 淋巴结(可分离的)*	31	* 31	0.42	* 0.42	30.6	*	*	*	*	*	*	*	*
74. 其他*	330	* 510	*	*	330	130	*	*	*	*	*	*	*
75. 实体软组织	30	60			30	60							
76. 液体(滑液、胸膜液 等)	300	450			300	22							
77. 肌肉(骨骼肌)*	2000	* 2000	34	* 34	1964	1600	24	24	37	* 37	340	* 340	1.06
78. 指(趾)甲(20)*	0.43	* 0.43	*	*	0.43	0.03	*	*	*	*	*	*	1.32
79. 腭*	11	* 9.8	1.3	* 1.3	9.6	7.7	0.1	0.1	1.2	* 1.1	0.9	* 0.7	1.07
80. 甲状旁腺(4)*	0.05	* 0.05	*	*	0.05	*	*	*	*	*	*	*	1.07

(续表)

1 器官、组织或成分	2 原位置量, g		3 总血量, ml		4 无淤离血管 官重量,g		5 水, g		6 矿物质, g		7 脂肪, g		8 蛋白, g		9 比重	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
81. 松果腺*	0.08	* 0.05	*		0.08	* 0.05	*		*		*		*		1.09	1.09
82. 脑垂体*	0.19	* 0.21	0.02	* 0.02	0.17	* 0.19	0.13	* 0.15	0	* 0	0.02	* 0.02	0.01	* 0.01		
83. 前列腺*	1	*	*		1	*	0.72	*	0.02	*	0.01	*	0.13	*	1.07	1.07
83a. 内容物*	*		*		*		*		*		*		*			
84. 唾液腺(6)*	13	* 13	0.89	* 0.89	12	* 12	9.1	* 9.1	*		*		*		1.07	1.07
85. 腮腺(2)	8	8	0.68	0.68	7.3	7.3			*		*		*		1.07	1.07
86. 颌下腺(2)	3	3	0.26	0.26	2.7	2.7									1.07	1.07
87. 舌下腺(2)	2	2	0.13	0.13	1.9	1.9									1.07	1.07
88. 骨髓*	600	* 600	20	* 20	579	* 579	240	* 220	220	* 210	130	* 120	150	* 140	1.43	1.43
89. 骨	300	300	11	11	288	288	55	55	160	160	3	3	82	82	2.24	2.24
90. 皮质骨	240	240			240	240									1.88	1.88
91. 骨小梁	60	60			60	60									1.10	1.10
92. 红骨髓	110	110	5	5	105	105	44	44	0.65	0.65	44	44	22	22	1.05	1.05
93. 黄骨髓																
94. 软骨	110	110			110	110	100	100	5.3	5.3	1.6	1.6	20	20	1.12	1.12
95. 关节周围组织(骨 髓)	80	80			80	80	64	64	4.1	4.1	1.3	1.3	16	16	1.12	1.12
96. 皮肤*	320	* 320	6.7	* 6.7	313	* 313	210	* 210	2.4	* 2.4	27	* 27	98	* 98	1.12	1.12
97. 表皮	20	20			20	20									1.17	1.17
98. 真皮	300	300			300	300									1.14	1.14
99. 皮下组织(见脂肪组 织)	320	320			320	320									0.99	0.99
100. 脾*	20	* 18	9.6	* 9.6	10	* 8	8	* 7.1	0.1	* 0.1	1.2	* 1.2	1	* 0.7	1.08	1.08
101. 牙齿(32)*	20	* 12	*		20	* 12	0.71	* 0.47	4.5	* 2.7	*		0.15	* 0.14	2.14	2.14
102. 牙釉质	4	3			4	3	0.028	0.021	0.96	0.72			0.012	0.009		
103. 牙主质	16	9			16	9	0.54	0.31	3.5	2			0.02	0.01		
104. 牙髓质	0.2	0.2			0.2	0.2	0.14	0.14	0.02	0.02	0	0	0.12	0.12		
105. 睾丸(2)*	2.2	*	0.2	*	2	*	1.6	*	0.03	*	0.2	*	0.2	*	1.06	1.06
106. 胸腺*	25	* 26	5.5	* 5.5	19	* 20	15	* 16	0.1	* 0.1	2.3	* 2.6	1.9	* 1.7	1.05	1.05

107. 甲状腺*	1.8	*	1.8	0.2	*	0.2	1.6	*	1.6	1.2	*	1.2	*	1.2	*	*	0.2	*	0.2	0.1	*	0.1	1.07	1.07
108. 舌*	30	*	18	*	*	*	30	*	18	6.7	*	4	*	*	*	0.1	*	0.06	1.6	*	0.96			
109. 扁桃腺(2)*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
110. 气管*	1	*	1	*	*	*	1	*	1	0.56	*	0.56	*	0.02	*	0.02	*	0.02	*	*	*	1.10	1.10	
111. 输尿管(2)*	2	*	2	*	*	*	2	*	2	1.4	*	1.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
112. 尿道*	1	*	1	*	*	*	1	*	1	0.76	*	0.76	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
113. 膀胱*	5	*	5	*	*	*	5	*	5	3.9	*	3.9	*	0.048	*	0.048	*	*	*	*	*			
114. 内容物(尿)*	14	*	14	*	*	*	14	*	14	14	*	14	*	0.16	*	0.16	*	*	*	0.91	*	1.04	1.04	
115. 乳腺*	1.3	*	1.3	*	*	*	1.3	*	1.3	0.8	*	0.8	*	0.01	*	0.01	*	0.15	*	0.04	*	0.04		
116. 卵巢*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
117. 阴茎*	2.8	*	*	*	*	*	1	*	*	4.7	*	*	*	0.064	*	0.064	*	0.038	*	1	*	1.06	1.06	
118. 子宫*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
119. 子宫输卵管*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
120. 阴道*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
体重	6000		6000				5300		5500	4300		4300		200		200		600		700		700		
标星号者的总重量	6000		6000				5400		5300	4000		3800		280		260		660		910		880		

表6 亚洲参考人体格特性及所有器官和组织中的血液、水、矿物质、脂肪和蛋白的含量:1岁男、女

1 器官、组织或成分	2 原位重量, g		3 总血量, ml		4 无游离血管 官重量,g		5 水, g		6 矿物质, g		7 脂肪, g		8 蛋白, g		9 比重	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
1. 体重																
1a 全部软组织	11000	11000	830	750	10120	10205	7100	7100	600	500	1100	1000	2100	2200	1.08	1.08
1b 全部硬组织	9700	9700			9700	9700	6000	6000	500	500	1800	1800	1400	1400		
2. 脂肪组织	1300	1300			1300	1300										
2. 脂肪组织	1400	1320	20	20	1379	1299	200	200	2.7	2.6	1100	1100	68	66	0.94	0.94
3. 皮下脂肪组织*	740	* 720	11	* 10	728	* 709	110	* 110	1.5	* 1.4	600	* 600	38	* 37	0.99	0.99
4. 其他可分离的脂肪组织*	500	* 480	8.6	* 8.2	491	* 471	70	* 67	0.94	* 0.91	400	* 400	24	* 23	0.94	0.94
5. 间隙的脂肪组织	120	120			120	120	19	19	0.24	0.24	96	96	6	6	0.94	0.94
6. 黄骨髓(骨髓)																
7. 肾上腺(2)*	4.5	* 4.2	0.3	* 0.3	4.2	* 3.9	3.2	* 2.9	*	*	0.5	* 0.5	0.4	* 0.4	1.04	1.04
8. 主动脉*	17	* 17		*	17	* 17	12	* 12	0.25	* 0.24	0.21	* 0.21	4.5	* 4.5		
9. 内容物*	32	* 32	30	* 30		*	26	* 26	0.32	* 0.32	0.17	* 0.17	5.8	* 5.8	1.08	1.08
10. 血液	900	900	850	850			720	720	9	9	6	6.3	160	160	1.08	1.08
11. 血浆	500	500					460	460	4.6	4.6	3	3.2	33	33	1.05	1.05
12. 红细胞	400	400					260	260	4.4	4.4	3	3.1	130	130	1.11	1.11
13. 血管*	34	* 34		*	34	* 34	26	* 26	0.21	* 0.21		*	7.9	* 7.9		
14. 内容物(除外主动脉和肺)*	470	* 440	440	* 420		*	380	* 350	4.5	* 4.3	3.1	* 3.1	85	* 80	1.08	1.08
15. 体脂	1300	1300			1300	1300					1300	1300			0.94	0.94
16. 基本的	200	200			200	200					200	200			0.94	0.94
17. 非基本的	1100	1100			1100	1100					1100	1100			0.94	0.94
18. 体液	7100	6800			7100	6800	7100	6800							1.02	1.02
19. 细胞外	3100	2900			3100	2900	3100	2900							1.02	1.02
20. 细胞内	4000	3900			4000	3900	4000	3900							1.02	1.02
21. 软骨(骨骼)	170	170			170	170	130	130	7	6.9	2.1	2.1	26	26	1.12	1.12
22. 结缔组织	560	550			560	550	350	350	23	23	5.6	5.5	210	210	1.22	1.22
23. 腱与筋膜	230	230			230	230	140	140	9.4	9.3	2.3	2.3	86	85	1.22	1.22
24. 关节周围组织	250	250			250	250	160	160	10	9.9	2.5	2.5	94	93	1.22	1.22
25. 其他结缔组织	80	79			80	79	51	51	3.4	3.4	0.8	0.79	28	28	1.22	1.22

26. 可分离结缔组织*	260	*	250	*	19	*	*		260	*	250	*	160	*	160	*	11	*	11	*	3	*	2.9	*	89	*	86	*	1.22	*	1.22	
27. 中枢神经系统*	1100	*	1100	*	21	*	17	*	1080	*	1082	*	860	*	850	*	16	*	16	*	120	*	120	*	87	*	86	*				
28. 脑	1100		1090				20		1078		1069		850		840		16		16		120		120		85		84		1.05		1.05	
29. 大脑	960		950						960		950		740		730		14		14		110		110		74		73					
30. 小脑	120		120						120		120		98		97		1.8		1.8		11		10		9.9		9.8					
31. 脑干	20		20						20		20		15		15		0.3		0.3		2.2		2.2		1.6		1.6		1.06		1.06	
32. 脊髓	15		15						15		15		11		11		0.27		0.26		2		2		1.7		1.7		1.05		1.05	
33. 内容物(脑脊液)*	21	*	21	*	*				21	*	21	*	21	*	21	*	0.13	*	0.13	*	*	*	*	0.01	*	0.01	*	1.03	*	1.03		
34. 眼(2)*	7	*	6.9	*	*				7	*	6.9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.05	*	1.05		
35. 眼晶体(2)	0.1		0.099						0.1		0.099		0.07		0.07		0		0		0		0		0.04		0.04		1.12	*	1.12	
36. 胆囊*	2	*	2	*	*				2	*	2	*	2	*	2	*	0.02	*	0.02	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
37. 内容物(胆汁)*	9	*	8.9	*	*				9	*	8.9	*	8.6	*	8.6	*	0.09	*	0.09	*	0.16	*	0.16	*	0.04	*	0.04	*	1.05	*	1.05	
38. 胃肠道*	210	*	210	*	*				210	*	210	*	160	*	160	*	1.7	*	1.6	*	11	*	11	*	29	*	29	*	1.06	*	1.06	
39. 内容物(食道+消化液)*	180	*	180	*	*				180	*	180	*	160	*	160	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
40. 食道	10		9.9						10		9.9		7.5		7.4		0.09		0.09									1.06		1.06		
41. 胃	30		30		0.94	0.93			29		29		21		21		0.24		0.23		1.9		1.9		4.1		4.1		1.07		1.07	
42. 内容物	50		50						50		50																					
43. 肠	170		170						170		170		130		130		1.3		1.3		11		11		21		20		1.06		1.06	
44. 内容物	130		130						130		130																					
45. 小肠	110		110						110		110		86		85		0.86		0.85		6.9		6.9		14		14		1.06		1.06	
46. 内容物	60		59						60		59																					
47. 十二指肠	9		8.9						9		8.9		7		6.9		0.07		0.07		0.56		0.55		1.2		1.2		1.07		1.07	
48. 空肠	49		49						49		49		38		37		0.38		0.37		3		3		6.2		6.1		1.06		1.06	
49. 回肠	52		51						52		51		41		40		0.41		0.4		3.3		3.3		6.7		6.6		1.06		1.06	
50. 大肠	60		59						60		59		47		47		0.48		0.48		3.8		3.7		6.6		6.5		1.06		1.06	
51. 内容物	70		69						70		69																					
52. 上部大肠	33		33						33		33		26		26		0.26		0.26		2		2		4.4		4.4		1.06		1.06	
53. 内容物	40		40						40		40																					
54. 升结肠和盲肠	15		15						15		15		12		12		0.12		0.12		0.94		0.93		2.1		2.1		1.06		1.06	
55. 横结肠	18		18						18		18		14		14		0.14		0.14		1.1		1.1		2.3		2.3		1.06		1.06	
56. 下部大肠	27		27						27		27		21		21		0.22		0.21		1.7		1.7		2.2		2.1		1.06		1.06	
57. 内容物	30		30						30		30																					
58. 降结肠	15		15						15		15		12		12		0.12		0.12		1		0.99		0.64		0.63		1.06		1.06	

81. 松果腺*	0.03 *	0.03	0.02 *	0.03	0.03 *	0.03 *	0.15 *	0.17	0 *	0.04 *	0.03	0.02 *	1.09	1.09
82. 脑垂体*	0.22 *	0.25	0.02 *	0.03	0.20 *	0.22	0.9 *	0.17	0 *	0.02 *	0.03	0.26 *	1.07	1.07
83. 前列腺*	1 *		*	1	1 *		*	*	0.03 *	0.02 *	*	*	1.07	1.07
83a 内容物*	*		*		*		*	*	*	*	*	*	1.07	1.07
84. 唾液腺(6)*	16 *	16	1.1 *	1.1	14.8 *	14.8	11 *	11	*	*	*	*	1.07	1.07
85. 腮腺(2)	9	9	0.77	0.76	8.2	8.2							1.07	1.07
86. 颌下腺(2)	5	5	0.44	0.43	4.5	4.5							1.07	1.07
87. 舌下腺(2)	2	2	0.13	0.13	1.9	1.9							1.07	1.07
88. 骨髓*	1300 *	1300	39 *	38	1300 *	1300	440 *	440	460 *	88 *	87	310 *	1.43	1.43
89. 骨	850	840	30	30	820	810	150	150	450	8.5	8.4	230	2.24	2.24
90. 皮质骨	670	660			670	660							1.88	1.88
91. 骨小梁	180	180			180	180							1.10	1.10
92. 红骨髓	190	190	8.6	8.5	181	181	76	75	1.1	76	75	38	1.05	1.05
93. 黄骨髓														
94. 软骨	170	170			170	170	130	130	7	2.1	2.1	26	1.12	1.12
95. 关节周围组织(骨骼)	130	130			130	130	84	83	5.4	1.6	1.6	20	1.12	1.12
96. 皮肤*	450	440	8.8	8.6	440	430	280	280	3.2 *	36 *	35	130 *	1.12	1.12
97. 表皮	20	20			20	20							1.17	1.17
98. 真皮	430	420			430	420							1.14	1.14
99. 皮下组织(见脂肪组织)	740	720			740	720							0.99	0.99
100. 脾*	36 *	33	17 *	16	18 *	16	15 *	13	0.2 *	1.7 *	1.7	2.2 *	1.08	1.08
101. 牙齿(32)*	8.3 *	8.1		*	8.3 *	8.1	0.85 *	0.79	6.2 *		*	0.17 *	2.14	2.14
102. 牙釉质	2	2			2	2	0.06	0.06	1.9			0.02	0.02	
103. 牙主质	6	5.9			6	5.9	0.65	0.65	4.2			0.026	0.026	
104. 牙髓质	0.3	0.2			0.3	0.2	0.14	0.092	0.02	0.002	0.0013	0.12	0.079	
105. 睾丸(2)*	2.6 *		0.2 *		2.4 *		1.9 *		0.03 *	0.3 *		0.2 *	1.06	1.06
106. 胸腺*	27 *	28	6 *	6.1	21 *	22	16 *	16	0.1 *	2.8 *	3.1	2 *	1.05	1.05
107. 甲状腺*	2.3 *	2.4	0.3 *	0.3	20 *	2.1	1.6 *	1.6	0.03 *	0.2 *	0.3	0.2 *	1.07	1.07
108. 舌*	13 *	13	*	*	13 *	13	8.7 *	8.6	0.14 *	2.1 *	2.1	2.1 *	2.1	2.1
109. 扁桃腺(2)*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
110. 气管*	2 *	2		*	2 *	2	1.1 *	1.1	0.03 *	*	*	*	1.10	1.10

(续表)

1 器官、组织或成分	2 原位重量、 g		3 总血量、 ml		4 无游离血器 官重量、g		5 水、 g		6 矿物质、 g		7 脂肪、 g		8 蛋白、 g		9 比重	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
111. 输尿管(2)*	3	3	*	*	3	3	2.1	2	*	*	*	*	*	*		
112. 尿道*	2.1	2	*	*	2.1	2	1.5	1.4	*	*	*	*	*	*		
113. 膀胱*	8	7.9	*	*	8	7.9	5.2	5.1	0.064	0.063	*	*	*	*		
114. 内容物(尿)*	19	19	*	*	19	19	18	18	0.2	0.2	*	*	1.2	1.1	1.04	1.04
115. 乳腺*	2	2	*	*	2	2	1.6	1.6	0.02	0.02	0.3	0.3	0.08	0.079		
116. 卵巢*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
117. 阴茎*	3	*	1	*	1.9	*	2	*	0.1	*	0.06	*	1	*	1.06	
118. 子宫*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
119. 子宫输卵管*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
120. 阴道*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
体重	11000	11000	830	750	10000	10000	7100	7100	600	500	1100	1000	2100	2200		
标星号者的总重量	11000	11000	910	850	10000	9600	6600	6500	570	560	1400	1400	1600	1600		

表 7 亚洲参考人体格特性及所有器官和组织中的血液、水、矿物质、脂肪和蛋白的含量: 5岁男、女

1 器官、组织或成分	2 原位置量, g		3 总血量, ml		4 无游离血器 官重量·g		5 水, g		6 矿物质, g		7 脂肪, g		8 蛋白, g		9 比重	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
1. 体重	19000	19000	1400	1400	18000	18000	12000	12000	1300	1300	2000	2000	3300	3200	1.08	1.08
1a 全部软组织	17000	17000			17000	17000	11000	11000	1100	1100	1800	1800	2900	2800		
1b 全部硬组织	2200	2200			2200	2200										
2. 脂肪组织	1900	1900	160	100	1700	1700	390	390	5.2	4.5	1400	1400	130	120	0.94	0.94
3. 皮下脂肪组织*	1100	* 1100	80	* 50	1000	* 1000	220	* 220	3	*	800	* 800	76	* 76	0.99	0.99
4. 其他可分离的脂肪组 织。	670	* 670	50	* 33	617	* 635	140	* 140	1.9	* 1.2	480	* 480	49	* 31	0.94	0.94
5. 间隙的脂肪组织	130	130			130	130	31	31	0.3	0.3	90	90	10	10	0.94	0.94
6. 黄骨髓(骨髓)																
7. 肾上腺(2)*	5.6	* 5.6	0.4	* 0.4	5.2	* 5.2	3.6	* 3.6	0.04	* 0.04	0.9	* 1	0.6	* 0.5	1.04	1.04
8. 主动脉*	29	* 28		*	29	* 28	20	* 20	0.42	* 0.41	0.35	* 0.35	7.7	* 7.6		
9. 内容物*	55	* 54	52	* 51	*	*	45	* 44	0.55	* 0.54	0.29	* 0.29	10	* 9.8	1.08	1.08
10. 血液	1500	1500	1400	1400			1200	1200	14	14	9.7	13	270	260	1.08	1.08
11. 血浆	850	830					780	770	7.4	7.3	6.3	8.5	56	47	1.05	1.05
12. 红细胞	650	640					420	410	7.1	7	3.4	4.5	220	220	1.11	1.11
13. 血管*	59	* 58		*	59	* 58	46	* 45	0.36	* 0.35		*	14	* 13		
14. 内容物(除外主动脉 和肺)。	850	* 800	800	* 760	*	*	680	* 650	8.2	* 7.8	5.7	* 7.4	150	* 140	1.08	1.08
15. 体脂	2000	2000			2000	2000					2000	2000			0.94	0.94
16. 基本的	230	230			230	230					230	230			0.94	0.94
17. 非基本的	1800	1800			1800	1800					1800	1800			0.94	0.94
18. 体液	12000	12000			12000	12000	12000	12000							1.02	1.02
19. 细胞外	5000	4850			5000	4850	5000	4850							1.02	1.02
20. 细胞内	7000	6750			7000	6750	7000	6750							1.02	1.02
21. 软骨(骨髓)	290	280			290	280	230	230	12	12	3.5	3.5	45	44	1.12	1.12
22. 结缔组织	950	930			950	930	590	590	39	39	9.5	9.3	360	350	1.22	1.22
23. 腱与筋膜	390	380			390	380	240	240	16	16	3.9	3.8	150	150	1.22	1.22
24. 关节周围组织	430	420			430	420	270	270	18	18	4.3	4.2	160	160	1.22	1.22
25. 其他结缔组织	130	130			130	130	85	83	5.5	5.4	1.3	1.3	46	45	1.22	1.22

[illegible]

(续表)

1 器官、组织或成分	2 原位重量、 g		3 总血量、 ml		4 无游离血器 官重量、g		5 水、 g		6 矿物质、 g		7 脂肪、 g		8 蛋白、 g		9 比重	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
81. 松果腺*	0.17	* 0.14	*		0.17	* 0.14	*		*		*		*		1.09	1.09
82. 脑垂体*	0.29	* 0.3	0.03	* 0.03	0.26	* 0.27	0.2	0.2	*		0.04	* 0.04	0.02	* 0.02		
83. 前列腺*	1	*	*		1	*	*		*		*		*		1.07	1.07
83a 内容物*	0.34	*	*		0.34	*	*		*		*		*			
84. 唾液腺(6)*	27	* 26	2.5	* 2.5	24	* 23	20	20	*		*		*		1.07	1.07
85. 腮腺(2)	16	16	1.7	1.7	14	14			*		*		*		1.07	1.07
86. 颌下腺(2)	8	7.8	0.9	0.9	7.0	6.8									1.07	1.07
87. 舌下腺(2)	3	2.9	0.25	0.25	2.7	2.6									1.07	1.07
88. 骨髓*	2200	* 2200	50	* 50	2200	* 2100	740	* 740	780	* 770	140	* 140	500	* 480	1.43	1.43
89. 骨	1400	1400	35	35	1363	1363	240	240	760	750	12	12	350	340	2.24	2.24
90. 皮质骨	1100	1100			1100	1100	170	170	610	600	9.2	9	280	270	1.88	1.88
91. 骨小梁	300	290			300	290	70	69	150	150	3	2.9	73	72	1.10	1.10
92. 红骨髓	310	300	15	15	294	284	120	120	1.8	1.8	120	120	62	61	1.05	1.05
93. 黄骨髓																
94. 软骨	290	280			290	280	230	230	12	12	3.5	3.5	45	44	1.12	1.12
95. 关节周围组织(骨 骺)	240	240			240	240	150	150	9.9	9.7	3	2.9	38	37	1.12	1.12
96. 皮肤*	780	* 770	18	* 18	760	* 750	490	* 480	5.5	* 5.4	62	* 61	230	* 230	1.12	1.12
97. 表皮	33	32			33	32									1.17	1.17
98. 真皮	750	740			750	740									1.14	1.14
99. 皮下组织(见脂肪组 织)	1100	1100			1100	1100									0.99	0.99
100. 脾*	59	* 58	29	* 28	28	* 28	23	* 23	0.5	* 0.5	1.9	* 2	5.3	* 5.1	1.08	1.08
101. 牙齿(32)*	43	* 34	*		43	* 34	1.5	* 1.3	11	* 8.3		*	0.28	* 0.26	2.14	2.14
102. 牙釉质	9	6			9	6	0.084	0.056	2.9	1.9			0.036	0.024		
103. 牙主质	33	27			33	27	1.2	0.98	7.8	6.4			0.049	0.04		
104. 牙髓质	1	1			1	1	0.23	0.23	0.033	0.033	0.0033	0.0033	0.2	0.2		
105. 睾丸(2)*	3.1	*	0.2	*	2.9	*	2.2	*	0.1	*	0.3	*	0.3	*	1.06	
106. 胸腺*	35	* 31	7.6	* 6.8	27	* 24	18	* 16	0.2	* 0.2	5.8	* 5.7	2.9	* 2	1.05	1.05

107. 甲状腺*	4.5	*	4.6	0.6	*	0.6	3.9	*	4	2.8	*	2.9	0.1	*	0.1	0.5	*	0.5	*	0.5	1.07	1.07
108. 舌*	64	*	50	*	*	15	64	*	50	15	*	15	0.23	*	0.18	3.6	*	2.8	*	3.6	2.8	
109. 扁桃腺(2)*	1	*	0.98	*	*	0.75	1	*	0.98	0.75	*	0.74	*	*	*	3.6	*	2.8	*	3.6	2.8	
110. 气管*	3.2	*	2.9	*	*	1.7	3.2	*	2.9	1.7	*	1.5	0.05	*	0.04	*	*	*	*	*	1.10	
111. 输尿管(2)*	5.1	*	4.9	*	*	3.4	5.1	*	4.9	3.4	*	3.3	*	*	*	*	*	*	*	*		
112. 尿道*	3.3	*	2.9	*	*	2.3	3.3	*	2.9	2.3	*	2	*	*	*	*	*	*	*	*		
113. 膀胱*	13	*	13	*	*	8.5	13	*	13	8.5	*	8.3	0.1	*	0.1	*	*	*	*	*		
114. 内容物(尿)*	33	*	32	*	*	31	33	*	32	31	*	30	0.36	*	0.35	*	*	*	2	2	1.04	
115. 乳腺*	3	*	3	*	*	2.4	3	*	3	2.4	*	2.4	0.03	*	0.03	0.45	*	0.45	*	0.12	0.12	
116. 卵巢*			0.5	*	*				0.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
117. 阴茎*	4	*		2	*	2	1.9	*		2	*	*	0.1	*	*	0.1	*	1.8	*	1.06		
118. 子宫*			5.9	*	*	*		*	5.9	*	*	3	*	*	0.15	*	*	0.15	*	2.7	1.06	
119. 子宫输卵管*			0.84	*	*	*		*	0.84	*	*	0.42	*	*	0.021	*	*	0.02	*	0.38	1.06	
120. 阴道*			2.1	*	*	*		*	2.1	*	*	1.1	*	*	0.053	*	*	0.05	*	0.95	1.06	
体重	19000		19000	1400		1400	18000		18000	12000		12000	1300		1300	2000		3300		3200		
标星号者的总重量	20000		20000	1700		1500	18000		18000	11000		11000	950		930	1900		2700		2600		

表8 亚洲参考人体格特性及所有器官和组织中的血液、水、矿物质、脂肪和蛋白的含量:10岁男、女

1 器官、组织或成分	2 原位重量、 g		3 总血量、 ml		4 游离血管 官重量、g		5 水、 g		6 矿物质、 g		7 脂肪、 g		8 蛋白、 g		9 比重	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
1. 体重	30000	31000	2400	2500	27000	28000	19000	19000	2200	2200	4500	4700	4300	4300	1.06	1.06
1a 全部软组织	25400	26600			25000	27000	16000	17000	1900	1900	3800	4000	3700	3700		
1b 全部硬组织	4600	4400			4600	4400										
2. 脂肪组织	4800	5100	89	91	4700	5000	1300	1300	16	17	3300	3600	300	300	0.92	0.92
3. 皮下脂肪组织*	2400	* 2700	45	* 46	2400	* 2700	650	* 700	8.5	* 8.8	1600	* 1900	160	* 170	0.97	0.97
4. 其他可分离的脂肪组织*	1500	* 1800	35	* 37	1500	* 1800	400	* 420	5.4	* 5.6	1100	* 1300	90	* 100	0.92	0.92
5. 间隙的脂肪组织	300	200			300	200	70	50	1.3	1.4	200	130	25	15	0.92	0.92
6. 骨髓(骨髓)	600	400	6	6.2	594	390	140	100	1.2	1	450	300	24	15	0.98	0.98
7. 肾上腺(2)*	8.1	* 8.1	0.6	* 0.6	7.5	* 7.5	5	* 5	0.06	* 0.06	1.5	* 1.7	1	* 0.8	1.02	1.02
8. 主动脉*	48	* 49	*	*	48	* 49	35	* 36	0.8	* 0.82	0.59	* 0.6	12	* 12		
9. 内容物*	90	* 93	85	* 88	*	*	75	* 78	1	* 1	0.48	* 0.49	13	* 14	1.06	1.06
10. 血液	2400	2500	2300	2400			1900	2000	23	24	16	23	440	480	1.06	1.06
11. 血浆	1400	1400					1300	1300	13	14	10	15	110	130	1.03	1.03
12. 红细胞	1000	1100					660	720	10	10	5.2	7.7	330	350	1.09	1.09
13. 血管*	96	* 100	*	*	96	* 100	75	* 78	0.59	* 0.61	*	*	22	* 23		
14. 内容物(除外主动脉和肺)*	1300	* 1300	1200	* 1300	*	*	1000	* 1100	12	* 13	8.7	* 12	240	* 240	1.06	1.06
15. 体脂	4500	4700			4500	4700					4500	4700			0.92	0.92
16. 基本的	570	480			570	480					570	480			0.92	0.92
17. 非基本的	3900	4200			3900	4200					3900	4200			0.92	0.92
18. 体液	19000	19000			19000	19000	19000	19000							1.00	1.00
19. 细胞外	8300	8430			8300	8430	8300	8430							1.00	1.00
20. 细胞内	11000	11000			11000	11000	11000	11000							1.00	1.00
21. 软骨(骨髓)	480	360			480	360	380	280	26	20	5.9	4.4	75	70	1.10	1.10
22. 结缔组织	1500	1100			1500	1100	920	640	79	60	15	11	490	430	1.20	1.20
23. 腱与筋膜	620	470			620	470	380	250	33	25	6.2	4.7	200	190	1.20	1.20
24. 关节周围组织	680	520			680	520	400	290	35	27	6.8	5.2	240	200	1.20	1.20
25. 其他结缔组织	200	150			200	150	140	100	11	8.3	2	1.5	50	40	1.20	1.20

26. 可分离结缔组织*	750	*	770		*		750	*	770		470	*	490	41	*	42	8.6	*	8.8	230	*	230	1.20	1.20
27. 中枢神经系统*	1500	*	1300		22	*	23				1200	*	920	29	*	30	160	*	120	120	*	120		
28. 脑	1470		1320		26		25				1100		900	29		30	160		120	110		120	1.03	1.03
29. 大脑	1280		1130								970		720	25		26	140		100	97		100		
30. 小脑	160		160								150		150	3.2		3.3	14		14	13		13		
31. 脑干	25		25								22		22	0.5		0.5	3.2		3.2	2.3		2.3	1.04	1.04
32. 脊髓	30		30								24		24	0.5		0.5	3		3	2.6		2.6	1.03	1.03
33. 内容物(脑脊液)*	59	*	60		*		*				65	*	66	0.5	*	0.51		*		0.02	*	0.02	1.01	1.01
34. 眼(2)*	15	*	11		*		*				*		*		*	*		*	*	*	*	*	1.03	1.03
35. 眼晶体(2)	0.4		0.3								0.2		0.2	0		0	0.01		0.01	0.11		0.09	1.10	1.10
36. 胆囊*	4	*	4		*		*				4	*	4	0.03	*	0.03		*	*	*	*	*		
37. 内容物(胆汁)*	27	*	29		*		*				30	*	32	0.4	*	0.43	0.49	*	0.52	0.13	*	0.14	1.03	1.03
38. 胃肠道*	600	*	610		*		*				470	*	480	6.1	*	6.2	36	*	37	71	*	62	1.04	1.04
39. 内容物(食物+消化液)*	510	*	520		*		*				*		*		*	*		*	*	*	*	*		
40. 食道	25		25								19		19	0.3		0.3							1.04	1.04
41. 胃	75		75		2.4		2.4				54		54	0.7		0.7	4.7		4.7	10		10	1.05	1.05
42. 内容物	130		130																					
43. 肠	500		510								400		400	5.1		5.2	32		32	61		52	1.04	1.04
44. 内容物	380		390																					
45. 小肠	320		330								250		260	3		3.1	20		20	41		32	1.04	1.04
46. 内容物	190		190																					
47. 十二指肠	30		30								23		23	0.3		0.3	1.9		1.9	3.9		3.9	1.05	1.05
48. 空肠	140		150								110		110	1.4		1.5	8.6		8.9	18		14	1.04	1.04
49. 回肠	150		150								120		120	1.3		1.3	9.6		9.6	19		14	1.04	1.04
50. 大肠	180		180								140		150	2.1		2.1	11		12	20		20	1.04	1.04
51. 内容物	190		200																					
52. 上部大肠	100		100								78		79	1		1	6.2		6.3	13		13	1.04	1.04
53. 内容物	120		130																					
54. 升结肠和盲肠	45		46								35		36	0.5		0.51	2.8		2.9	6.2		6.3	1.04	1.04
55. 横结肠	55		55								43		43	0.5		0.5	3.4		3.4	7.2		7.2	1.04	1.04
56. 下部大肠	80		83								64		66	1.1		1.1	5.2		5.4	6.6		6.9	1.04	1.04
57. 内容物	70		70																					
58. 降结肠	43		45								34		36	0.5		0.52	2.9		3	1.8		1.9	1.04	1.04

82. 脑垂体*	0.4 *	0.45	0.04 *	0.05	0.36 *	0.40	0.27 *	0.3	0.01 *	0.01 *	0.05 *	0.07	0.03 *	0.03 *	1.05
83. 前列腺*	1.5 *			*	1.5 *		*		*	*	*		*	*	1.05
83a 内容物*	0.51 *			*	0.51 *		*		*	*	*		*	*	1.05
84. 唾液腺(6)*	44 *	46	3.3 *	3.3	41 *	43	33 *	25	*	*	*		*	*	1.05
85. 腮腺(2)	26	26	2.2	2.2	24	24									1.05
86. 颌下腺(2)	13	15	1.1	1.3	12	14									1.05
87. 舌下腺(2)	5	5	0.33	0.33	5	5									1.05
88. 骨髓*	4600 *	4400	100 *	100	4500 *	4300	1500 *	1100	1800 *	1800 *	760 *	540	900 *	730	1.40
89. 骨	2400	2500	70	73	2300	2400	410	300	1800	1700	21	22	600	470	2.20
90. 皮质骨	1900	2000			1900	2000	290	210	1500	1400	16	17	480	350	1.85
91. 骨小梁	500	520			500	520	120	90	330	330	5	5.2	120	120	1.08
92. 红骨髓	700	720	32	32	670	690	280	210	5	5.1	280	210	140	110	1.03
93. 黄骨髓	600	400	6.9	7.2	590	390	140	100	1.2	1	450	300	24	15	0.98
94. 软骨	480	360			480	360	380	280	26	20	5.9	4.4	75	70	1.10
95. 关节周围组织(骨骼)	380	390			380	390	240	180	20	21	4.8	4.9	60	61	1.10
96. 皮肤*	1200 *	1200	24 *	25	1200 *	1200	950 *	950	11 *	12	95 *	100	350 *	260	1.10
97. 表皮	50	52			50	52									1.15
98. 真皮	1150	1200			1200	1200									1.12
99. 皮下组织(见脂肪组织)	2400	2700			2400	2700									0.97
100. 脾*	88	87	43	42	42 *	42	33	33	0.8	0.8	2	2.1	9.5	9.2	1.06
101. 牙齿(32)*	45 *	34		*	45 *	34	2.5 *	2.5	19 *	16	*		0.45 *	0.45	2.10
102. 牙釉质	10	7			10	7	0.17	0.17	5.8	5.8			0.07	0.07	2.10
103. 牙主质	34	26			34	26	2	2	13	10			0.08	0.08	2.10
104. 牙髓质	1	1			1	1	0.35	0.35	0.05	0.05	0.01	0.01	0.3	0.3	2.10
105. 睾丸(2)*	4.7 *		0.4 *		4.3 *		3.3 *		0.1 *		0.5 *		0.6 *		1.04
106. 胸腺*	42 *	32	9.2 *	7.2	32 *	24	21 *	16	0.2 *	0.2	7.9	6.8	3.7	2.3	1.03
107. 甲状腺*	8.4 *	8.6	1.1 *	1.2	7.2 *	7.3	5.2 *	5.3	0.1 *	0.1	0.9	1	1.1	1	1.05
108. 舌*	67 *	51		*	67 *	51	28 *	28	0.38 *	0.38	5.9	5.9	5.9	5.9	1.05
109. 扁桃腺(2)*	1 *	1		*	1 *	1	0.75 *	0.75	*	*	*	*	*	*	1.08
110. 气管*	5 *	5		*	5 *	5	2.8 *	2.8	0.08	0.08	*	*	*	*	1.08
111. 输尿管(2)*	8 *	8.6		*	8 *	8.6	5.5 *	5.9	*	*	*	*	*	*	1.08
112. 尿道*	5 *	5		*	5 *	5	3.8 *	3.8	*	*	*	*	*	*	1.08

(续表)

1 器官、组织或成分	2 原位重量, g		3 总血量, ml		4 无游离血器 官重量,g		5 水, g		6 矿物质、 g		7 脂肪, g		8 蛋白, g		9 比重	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
113. 膀胱*	21	* 21	*		21	* 21	14	* 14	0.17	0.17	*		*			
114. 内容物(尿)*	54	* 54	*		54	* 54	50	* 50	0.58	0.58	*		3.3	* 3.3		1.02 1.02
115. 乳腺*	2.8	* 38	*		2.8	* 38	4	* 120	0.05	1.5	0.75	* 23	0.2	* 6		
116. 卵巢*	*	1.4	*		*	1.4	*		*		*		*			
117. 阴茎*	6	*	*		3.9	*	3.1	*	0.2	*	0.1	*	2.6	*		1.04
118. 子宫*	*	8.9	*		*	8.9	*	4.6	*	0.3	*	0.15	*	* 3.9		
119. 子宫输卵管*	*	1.3	*		*	1.3	*	0.67	*	0.043	*	0.02	*	* 0.56		
120. 阴道*	*	3.2	*		*	3.2	*	1.7	*	0.11	*	0.05	*	* 1.4		
体重	30000	31000	2400	2500	27000	28000	19000	19000	2200	2200	4500	4700	4300	4300		
标星号者的总重量	30000	31000	2500	2500	28000	28000	18000	18000	2200	2200	4100	4500	4200	4100		

表 9 亚洲参考人体格特性及所有器官和组织中的血液、水、矿物质、脂肪和蛋白的含量,15 岁男、女

1 器官、组织或成分	2 原位重量, g		3 总血量, ml		4 无游离血器 官重量,g		5 水, g		6 矿物质, g		7 脂肪, g		8 蛋白, g		9 比重	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
1. 体重	54000	49000	4100	3000	50000	46000	36000	31000	2900	2400	7500	9500	7300	6900	1.07	1.05
1a 全部软组织	46700	43400			47000	43000	32000	25000	310	260	8700	9000	6700	5500		
1b 全部硬组织	7300	5600			7300	5600										
2. 脂肪组织	9500	8850	140	105	9400	8740	1800	1600	20	15	7100	6800	470	420	0.93	0.91
3. 皮下脂肪组织*	4900	* 4600	73	* 66	4800	* 4500	850	* 800	10	* 7.6	3700	* 3600	240	* 230	0.98	0.96
4. 其他可分离的脂肪组 织*	3100	* 2900	55	* 50	3000	* 2800	600	* 550	6	* 4.7	2300	* 2200	150	* 130	0.93	0.91
5. 间隙的脂肪组织	500	450			500	450	100	90	1.4	1.1	360	340	35	28	0.93	0.91
6. 黄骨髓(骨髓)	1000	900	11	8.5	990	890	200	180	2.2	1.7	750	690	44	34	0.99	0.97
7. 肾上腺(2)*	1.1	* 11	0.9	* 0.8	10	* 9.8	6.5	* 6.1	0.1	* 0.1	2.2	* 2.8	1.7	* 1.4	1.03	1.01
8. 主动脉*	84	* 63		*	84	* 63	59	* 44	1.2	* 0.92	1	* 1.2	20	* 17		
9. 内容物*	160	* 120	150	* 120		*	130	* 99	1.6	* 1.2	0.85	* 1	25	* 22	1.07	1.05
10. 血液	4300	3200	4100	3000			3400	2600	41	31	29	29	780	570	1.07	1.05
11. 血浆	2400	2000					2200	1800	21	18	18	19	160	* 150	1.04	1.02
12. 红细胞	1900	1200					1200	750	20	13	10	10	620	430	1.10	1.08
13. 血管*	170	* 130	*		170	* 130	130	* 100	1	* 0.81		*	40	* 31		
14. 内容物(除外主动脉 和肺)*	1900	* 1500	1800	* 1400		*	1500	* 1200	18	* 15	13	* 14	340	* 270	1.07	1.05
15. 体脂	7500	9500			7500	9500					7500	9500			0.93	0.91
16. 基本的	900	700			900	700					900	700			0.93	0.91
17. 非基本的	6600	8800			6600	8800					6600	8800			0.93	0.91
18. 体液	36000	31000			36000	31000									1.01	0.99
19. 细胞外	16000	12800			16000	12800									1.01	0.99
20. 细胞内	20000	18200			20000	18200									1.01	0.99
21. 软骨(骨髓)	840	640			840	640	650	490	34	26	10	12	130	99	1.11	1.09
22. 结缔组织	2700	2000			2700	2000	1700	1300	110	85	27	31	1000	760	1.21	1.19
23. 腱与筋膜	1100	830			1100	830	690	520	45	34	11	12	410	310	1.21	1.19
24. 关节周围组织	1200	910			1200	910	760	580	50	38	12	14	450	340	1.21	1.19
25. 其他结缔组织	400	300			400	300	260	200	17	13	4	5	140	110	1.21	1.19

(续表)

1 器官、组织或成分	2 原位重量, g		3 总血量, ml		4 无游离血器 官重量,g		5 水, g		6 矿物质, g		7 脂肪, g		8 蛋白, g		9 比重	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
26. 可分离结缔组织*	1300	* 1000	*		1300	* 1000	870	* 620	54	* 41	15	* 18	420	* 380	1.21	1.19
27. 中枢神经系统*	1500	* 1400	25	* 23	1500	* 1300	1200	* 880	22	* 17	160	* 170	120	* 89		
28. 脑	1470	1320	28	26	1440	1290	1100	860	22	16	160	170	110	86	1.04	1.02
29. 大脑	1280	1130			1280	1130	980	740	19	14	140	150	98	75		
30. 小脑	160	160			160	160	130	98	2.4	1.8	14	16	13	9.9		
31. 脑干	30	30			30	30	23	18	0.45	0.35	3.3	4	2.4	1.8	1.05	1.03
32. 脊髓	30	30			30	30	24	20	0.4	0.33	3	3.5	2.6	2.2	1.04	1.02
33. 内容物(脑脊液)*	100	* 75	*		100	* 75	100	* 75	0.64	* 0.48	*	*	0.03	* 0.02	1.02	1.00
34. 眼(2)*	15	* 12	*		15	* 12	*	*	*	*	*	*	*	*	1.04	1.02
35. 眼晶体(2)	0.4	0.33			0.4	0.3	0.2	0.2	0.0012	0.0012	0.01	0.01	0.11	0.11	1.11	1.09
36. 胆囊*	8	* 6.1	*		8.0	* 6.1	7.9	* 6	0.06	* 0.05	*	*	*	*		
37. 内容物(胆汁)*	47	* 36	*		47	* 36	45	* 34	0.47	* 0.36	0.85	* 1	0.23	* 0.17	1.04	1.02
38. 胃肠道*	1000	* 790	*		1000	* 790	770	* 600	7.9	* 6.2	50	* 55	120	* 110	1.05	1.03
39. 内容物(食物+消化液)*	900	* 690	*		900	* 690	*	*	*	*	*	*	*	*		
40. 食道	30	28			30	28	23	17	0.27	0.2					1.05	1.03
41. 胃	120	95	3.8	3	120	92	86	68	0.94	0.75	7.5	8	16	13	1.06	1.04
42. 内容物	230	170			230	170										
43. 肠	850	660			850	660	670	520	6.7	5.2	54	61	100	80	1.05	1.03
44. 内容物	670	520			670	520										
45. 小肠	540	420			540	420	420	330	4.2	3.3	34	40	69	53	1.05	1.03
46. 内容物	330	260			330	260										
47. 十二指肠	40	30			40	30	31	23	0.32	0.24	2.5	2.9	5.2	3.9	1.06	1.04
48. 空肠	240	190			240	190	190	150	1.8	1.5	15	18	31	24	1.05	1.03
49. 回肠	260	200			260	200	200	150	2	1.6	17	19	33	25	1.05	1.03
50. 大肠	310	240			310	240	250	190	2.5	1.9	20	22	34	27	1.05	1.03
51. 内容物	340	260			340	260										
52. 上部大肠	170	130			170	130	130	100	1.4	1	11	12	22	17	1.05	1.03

(续表)

1 器官、组织或成分	2 原位重量, g		3 总血量, ml		4 无游离血器 官重量,g		5 水, g		6 矿物质, g		7 脂肪, g		8 蛋白, g		9 比重	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
80. 甲状腺(4)*	0.12 *	0.16	*		0.1 *	0.2	*		*		*		*		1.06	1.04
81. 松果腺*	0.18 *	0.16	*		0.18 *	0.16	*		*		*		*		1.08	1.06
82. 脑垂体*	0.53 *	0.61	0.06 *	0.07	0.47 *	0.54	0.35 *	0.4	0.01 *	0.01	0.08 *	0.1	0.04 *	0.04		
83. 前列腺*	11 *		*		11 *		*		*		*		*		1.06	1.04
83a 内容物*	3.6 *		*		3.6 *		*		*		*		*			
84. 唾液腺(6)*	77 *	59	5.7 *	5.2	71 *	53	58 *	45	*		*		*		1.06	1.04
85. 腮腺(2)	45	35	3.8	3	41	32			*		*		*		1.06	1.04
86. 颌下腺(2)	23	17	2	1.5	21	15									1.06	1.04
87. 舌下腺(2)	9	6.8	0.59	0.44	8.4	6.3									1.06	1.04
88. 骨髓*	7300 *	5700	200 *	180	7100 *	5500	2300 *	1700	2300 *	1800	1200 *	1100	1400 *	1100	1.41	1.39
89. 骨	4000	3000	140	130	3800	2900	670	500	2200	1700	35	41	1000	750	2.22	2.18
90. 皮质骨	3200	2400			3200	2400	480	360	1800	1400	27	32	800	600	1.87	1.83
91. 骨小梁	800	600			800	600	190	140	400	300	8	9	200	150	1.09	1.07
92. 红骨髓	900	750	41	37	860	710	360	270	5.3	4	360	400	180	140	1.04	1.02
93. 黄骨髓	1000	900	13	12	990	890	200	180	2.2	1.7	750	690	44	34	0.99	0.97
94. 软骨	840	640			840	640	650	490	34	26	10	12	130	99	1.11	1.09
95. 关节周围组织(骨 髓)	600	450			600	450	390	300	25	19	7.5	10	94	71	1.11	1.09
96. 皮肤*	2200 *	1700	43 *	39	2200 *	1600	1600 *	1400	16 *	13	170 *	190	630 *	470	1.11	1.09
97. 表皮	100	76			100	76									1.16	1.14
98. 真皮	2100	1600			2100	1600									1.13	1.11
99. 皮下组织(见脂肪组 织)	4900	4600			4900	4600									0.98	0.96
100. 脾*	120 *	110	57 *	54	57 *	55	43 *	41	0.9 *	0.9	2.1 *	2.5	15 *	14	1.07	1.05
101. 牙齿(32)*	45 *	34	*		45 *	34	4.4 *	3.4	32 *	25	*		6.8 *	6.2	2.12	2.08
102. 牙釉质	10	7			10	7	0.25	0.19	8.6	6.6			0.11	0.08		
103. 牙主质	34	26			34	26	3.5	2.7	23	18			0.14	0.11		
104. 牙髓质	1	1			1	1	0.7	0.53	0.1	0.08	0.01	0.01	0.6	0.46		
105. 睾丸(2)*	33 *		2.5 *		31 *		23 *		0.3 *		2.9 *		4.6 *		1.05	1.03

106. 胸腺*	37	*	32	8.1	*	7	28	*	25	17	*	15	0.2	*	0.2	7.8	*	8.5	3.7	*	2.5	1.04	1.02
107. 甲状腺*	16	*	15	2.1	*	2	13	*	13	9.2	*	8.9	0.2	*	0.1	1.8	*	2.2	2.2	*	2	1.06	1.04
108. 舌*	67	*	51		*		67	*	51	42	*	32	0.66	*	0.5	10	*	12	10	*	7.6		
109. 扁桃腺(2)*	4	*	3		*		4	*	3	3	*	2.3		*			*			*			
110. 气管*	8	*	6		*		8	*	6	4.4	*	3.4	0.12	*	0.09		*			*		1.09	1.07
111. 输尿管(2)*	13	*	14		*		13	*	14	8.9	*	9.6		*			*			*			
112. 尿道*	8	*	5		*		8	*	5	6	*	3.8		*			*			*			
113. 膀胱*	38	*	30		*		38	*	30	25	*	19	0.3	*	0.24		*			*			
114. 内容物(尿)*	96	*	78		*		96	*	78	89	*	72	1	*	0.84		*		5.8	*	4.7	1.03	1.01
115. 乳腺*	20	*	270		*		20	*	270	6.4	*	190	0.08		2.4	1.2	*	36	0.32	*	9.6		
116. 卵巢*		*	9.8		*			*	9.8		*			*			*			*			
117. 阴茎*	42	*			*		42	*		30	*			*			*			*		1.05	
118. 子宫*		*	63		*			*	63		*			*			*			*			
119. 子宫输卵管*		*	8.9		*			*	8.9		*			*			*			*			
120. 阴道*		*	22		*			*	22		*			*			*			*			
体重	54000		49000	4100		3000	50000		46000	36000		31000	2900		2400	7500		9500	7300		6900		
标星号者的总重量	54000		49000	4400		3600	49600		45000	31000		27000	2800		2200	8100		8300	7600		6300		

表 10 亚洲参考人体格特性及所有器官和组织中的血液、水、矿物质、脂肪和蛋白的含量:成年人(20~50岁)男、女

1 器官、组织或成分	2 原位重量, g		3 总血量, ml		4 无游离血器 官重量,g		5 水, g		6 矿物质, g		7 脂肪, g		8 蛋白, g		9 比重	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
1. 体重	60000	51000	4500	3600	55000	47000	37000	29000	3300	2500	10000	13000	8900	6800	1.06	1.04
1a 全部软组织	52000	45000			52000	45000	34000	27000	340	290	9700	11000	8000	6300		
1b 全部硬组织	8400	6400			8400	6400										
2. 脂肪组织	11000	13000	150	120	10800	12800	1900	1700	22	16	8600	11000	540	410	0.92	0.90
3. 皮下脂肪组织*	5500	* 7000	75	* 65	5400	* 6900	910	* 880	11	* 8	4300	* 5900	280	* 210	0.97	0.95
4. 其他可分离的脂肪组织	3500	* 4500	55	* 45	3400	* 4400	620	* 520	6.6	* 5	2700	* 3800	170	* 130	0.92	0.90
5. 间隙的脂肪组织	700	530			700	530	110	90	1.4	1	550	410	35	27	0.92	0.90
6. 黄骨髓(骨髓)	1300	990	20	10	1300	980	250	160	2.6	1.9	1000	790	52	40	0.98	0.96
7. 肾上腺(2)*	14	* 13	1.1	* 1	13	* 12	8.9	* 8	0.1	* 0.1	3	* 3	2.4	* 1.9	1.02	1.00
8. 主动脉*	90	* 68		*	90	* 68	63	* 48	1.3	* 0.98	1.1	* 1.4	24	* 18		
9. 内容物*	170	* 130	150	* 120		*	140	* 110	1.7	* 1.3	0.9	* 1.1	27	* 18	1.06	1.04
10. 血液	4800	3800	4500	3600			3900	3100	46	37	32	35	870	680	1.06	1.04
11. 血浆	2700	2100					2500	1900	23	19	17	21	160	130	1.03	1.01
12. 红细胞	2100	1700					1400	1100	23	18	15	14	710	550	1.09	1.07
13. 血管*	180	* 140		*	180	* 140	140	* 110	1.1	* 0.86		*	39	* 29		
14. 内容物(除外主动脉和肺)*	2100	* 1600	2000	* 1500		*	1700	* 1300	20	* 16	14	* 15	380	* 290	1.06	1.04
15. 体脂	10000	13000			10000	13000					10000	13000			0.92	0.90
16. 基本的	1200	1000			1200	1000					1200	1000			0.92	0.90
17. 非基本的	8800	12000			8800	12000					8800	12000			0.92	0.90
18. 体液	37000	29000			37000	29000	37000	29000							1.00	0.98
19. 细胞外	16000	12500			16000	12500	16000	12500							1.00	0.98
20. 细胞内	21000	16500			21000	16500	21000	16500							1.00	0.98
21. 软骨(骨髓)	900	700			900	700	700	530	37	29	11	14	140	110	1.10	1.08
22. 结缔组织	2900	2200			2900	2200	1800	1400	120	91	29	37	1100	810	1.20	1.18
23. 腱与筋膜	1200	910			1200	910	750	570	49	37	12	15	450	340	1.20	1.18
24. 关节周围组织	1300	990			1300	990	820	620	54	41	13	17	490	370	1.20	1.18
25. 其他结缔组织	400	300			400	300	260	200	17	13	4	5.1	140	100	1.20	1.18

[illegible]

(续表)

1 器官、组织或成分	2 原位重量、 g		3 总血量、 ml		4 无游离血管器 官重量、g		5 水、 g		6 矿物质、 g		7 脂肪、 g		8 蛋白、 g		9 比重	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
59. 乙状结肠	50	40			50	40	40	32	0.4	0.32	3.1	3.9	6.5	5.2	1.04	1.02
60. 直肠	20	20			20	20	16	16	0.16	0.16	1.2	1.5	2.6	2.6	1.04	1.02
61. 头发*	25	* 75			25	* 75	2.1	* 6	0.13	* 0.39	0.6	* 0.76	22	* 66	1.30	1.28
62. 心脏*	380	* 320	89	* 76	290	* 240	200	* 170	3.4	* 2.9	26	* 24	54	* 44	1.03	1.01
63. 内容物(房室的)*	400	* 300	380	* 290		*	320	* 240	3.8	* 3.9	2	* 3.7	73	* 54	1.06	1.04
64. 肾(2)*	320	* 280	49	* 42	270	* 240	190	* 170	2.8	* 2.4	30	* 29	51	* 42	1.05	1.03
65. 喉*	27	* 20			27	* 20	18	* 13	0.81	* 0.6		*		*	1.08	1.06
66. 肝*	1600	* 1400	180	* 150	1400	* 1200	980	* 840	18	* 15	160	* 150	260	* 210		
67. 肺*	1200	* 910	710	* 540	450	* 340	940	* 720	12	* 9.3	11	* 13	210	* 160	1.05	1.05
68. 肺实质(支气管树和 毛细血管血)	500	380	90	68	400	310	380	290	5.5	4.1	6.2	7.9	88	67	0.26	0.26
69. 血液(动脉和静脉)	700	530	660	500			560	430	6.7	5.2	4.7	4.9	130	95	1.00	0.98
70. 支气管树	26	20			26	20									1.06	1.04
71. 淋巴细胞	1300	900			1300	900										
72. 淋巴组织	600	450			600	450										
73. 淋巴结(可分离的)*	220	* 170	3	* 22	217	* 168		*	*	*	*	*	*	*		
74. 其他*	2500	* 790		*	2500	* 790	1900	* 550	170	* 60	220	* 230	210	* 40		
75. 实体软组织	2100	540			2100	540										
76. 液体(滑液、胸膜液 等)	400	250			400	250	300	250								
77. 肌肉(骨骼肌)*	25000	* 20000	410	* 360	25000	* 20000	20000	* 15000	280	* 280	420	* 620	4300	* 3800	1.04	1.02
78. 指(趾)甲(20)*	3	* 2.3		*	3	* 2.3	0.2	* 0.15		*		*		*	1.30	1.28
79. 胰*	130	* 110	16	* 13	110	* 96	80	* 67	2.4	* 2	17	* 15	19	* 15	1.05	1.03
80. 甲状腺(4)*	0.12	* 0.14		*	0.12	* 0.14		*		*		*		*	1.05	1.03
81. 松果腺*	0.18	* 0.14		*	0.18	* 0.14		*		*		*		*	1.07	1.05
82. 脑垂体*	0.54	* 0.64	0.06	* 0.07	0.54	* 0.57	0.37	* 0.41	0.01	* 0.01	0.09	* 0.11	0.05	* 0.04		

83. 前列腺*	12 *	*	*	12 *	9.4 *	0.2 *	0.15 *	1.7 *	1.05	1.03
83a 内容物*	4 *	*	*	4 *	2.7 *	*	*	0.15 *		
84. 唾液腺(6)*	82 *	62	6.1 *	76 *	62 *	47	*	*	1.05	1.03
85. 腮腺(2)	48	36	4.1	44	32				1.05	1.03
86. 颌下腺(2)	24	18	2.1	22	16				1.05	1.03
87. 舌下腺(2)	10	7.6	0.65	9.3	7				1.05	1.03
88. 骨髓*	8400 *	6400	210 *	8200 *	6200	2700 *	2000	1500 *	1800 *	1300
89. 骨	4500	3400	160	4300	3300	810	610	40	1200	900
90. 皮质骨	3600	2700		3600	2700	590	440	30	980	720
91. 骨小梁	900	700		900	700	220	170	10	220	180
92. 红骨髓	1000	780	45	950	740	400	280	400	200	120
93. 黄骨髓	1300	990	15	1300	980	250	160	1000	52	40
94. 软骨	900	700		900	700	700	530	11	140	110
95. 关节周围组织(骨骼)	700	530		700	530	500	380	8.8	160	110
96. 皮肤*	2400 *	1800	47	2400 *	1700	*	*	*	*	
97. 表皮	100	76		100	76				1.10	1.08
98. 真皮	2300	1700		2300	1700				1.15	1.13
99. 皮下组织(见脂肪组织)	5500	7000		5500	7000				1.12	1.10
100. 脾*	140 *	120	65 *	66 *	56	49 *	45	2.2 *	17 *	16
101. 牙齿(32)*	45 *	34	*	45 *	34	4.7 *	3.5	34 *	0.87 *	0.66
102. 牙釉质	10	7.3		10	7.3	0.28	0.2	9.6	0.12	0.09
103. 牙主质	34	26		34	26	3.7	2.8	24	0.15	0.11
104. 牙髓质	1	0.7		1	0.7	0.7	0.5	0.1	0.01	0.01
105. 睾丸(2)*	37 *		2.8 *	34 *		25 *	*	0.4 *	5.5 *	
106. 胸腺*	30 *	29	6.6 *	23 *	22	13 *	12	0.1 *	6.4 *	6.7
107. 甲状腺*	19 *	17	2.6 *	16 *	15	11 *	10	0.2 *	2.2 *	2.3
108. 舌*	67 *	51	*	67 *	51	45 *	34	0.7 *	11 *	14
109. 扁桃腺(2)*	4 *	3	*	4 *	3	3 *	2.3	*	*	*
110. 气管*	9 *	6.8	*	9 *	6.8	5 *	3.8	0.14 *	*	*
111. 输尿管(2)*	14 *	15	*	14 *	15	9.6 *	10	*	*	*
112. 尿道*	9 *	6	*	9 *	6	6.8 *	4	*	*	*
113. 膀胱*	40 *	30	*	40 *	30	26 *	19	0.32 *	*	*

(续表)

1 器官、组织或成分	2 原位重量, g		3 总血量, ml		4 无游离血器 官重量,g		5 水, g		6 矿物质, g		7 脂肪, g		8 蛋白, g		9 比重	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
114. 内容物(尿)*	100	* 85	*		100	* 85	93	* 79	1.1	* 0.94			6.2	* 5.3	1.02	1.00
115. 乳腺*	22	* 300	*		22	* 300	15	* 200	0.1	* 3	3	* 50	4	* 47		1.02
116. 卵巢*		* 11	*			* 11	*	*	*	*	*	*	*	*		1.02
117. 阴茎*	47	*	15	*	31	*	38	*	0.6	*	0.4	*	8	*	1.04	
118. 子宫*		* 70	*	30		* 38	*	57	*	0.89	*	0.6	*	12		1.04
119. 子宫输卵管*		* 10	*	5		* 4.7	*	8.1	*	0.13	*	0.085	*	1.7		1.04
120. 阴道*		* 25	*	10		* 14	*	20	*	0.32	*	0.21	*	4.3		1.04
体重	60000	51000	4500	3600	55000	47000	37000	29000	3300	2500	10000	13000	8900	6800		
标星号者的总重量	60000	51000	4500	3600	55000	47000	36000	27000	3200	2400	9800	13000	9200	7400		

(王继先)

参 考 文 献

- 1 Wang J. Anthropomorphic Measurements, in IAEA-TECDOC-1005, Compilation of anatomical, physiological and metabolic characteristics for a Reference Asian Man Vol. 1; Data summary and conclusion, IAEA. Vienna 1998. 7-25
- 2 Kawamura H. Organ Mass Measurement, in IAEA-TECDOC-1005. Vol. 1; Data summary and conclusion. IAEA. Vienna 1998. 27-55
- 3 Dong HS. Daily Dietary Intake, in IAEA-TECDOC-1005. Vol. 1; Data summary and conclusion, IAEA. Vienna 1998. 61-69
- 4 Tanaka G, Kawamura H. Anatomical and Physiological Characteristics for Asian Reference Man-Male and Female of Different Ages; Tanaka Model-in NIRS-M-115, 1996