

中华人民共和国国家职业卫生标准

GBZ/T 200.5—2014

辐射防护用参考人 第 5 部分：人体的元素组成和 主要组织器官的元素含量

Reference individuals for use in radiation protection—
Part 5: human body elemental composition and contents of
element in main tissues and organs

2014-10-13 发布

2015-03-01 实施

中 华 人 民 共 和 国
国家卫生和计划生育委员会 发 布



目 次

前言 Ⅲ

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 参考值 2

附录 A（规范性附录） 组织器官的元素浓度及其含量参考值的计算 13

附录 B（资料性附录） 正确使用本标准参考值的说明 19

参考文献 20

前 言

根据《中华人民共和国职业病防治法》制定本标准。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

GBZ/T 200《辐射防护用参考人》标准按部分发布,分以下五部分:

- 第 1 部分:体格参数;
- 第 2 部分:主要组织器官质量;
- 第 3 部分:主要生理学参数;
- 第 4 部分:膳食组成和元素摄入量;
- 第 5 部分:人体的元素组成和主要组织器官的元素含量。

本部分是 GBZ/T 200 的第 5 部分。

本部分起草单位:中国医学科学院放射医学研究所、辽宁省职业病防治院、中国人民解放军 409 医院。

本部分起草人:赵永成、王继先、郑水桥、孙志娟、赵万欣、白羽、翟瑞仁、郭廷凯。

辐射防护用参考人

第5部分:人体的元素组成和 主要组织器官的元素含量

1 范围

GBZ/T 200 的本部分规定了人体的元素组成和主要器官的元素含量参考值。
本部分适用于放射性核素剂量估算和人体体模组织等效材料研制。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GBZ/T 200.1 辐射防护用参考人 第1部分:体格参数

GBZ/T 200.2 辐射防护用参考人 第2部分:主要组织器官质量

GBZ/T 200.4 辐射防护用参考人 第4部分:膳食组成和元素摄入量

3 术语和定义

GBZ/T 200.1、GBZ/T 200.2、GBZ/T 200.4 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

基本元素 basic elements

在生物机体中含量最多的元素,即碳、氢、氧、氮。

3.2

常量元素 major elements

人体中含量大于体重 0.01% 的元素,如钙、磷、钾、硫、钠、氯、镁等。

3.3

辐射防护重要元素 elements of importance in radiation protection

在辐射防护中与放射性核素代谢和剂量估算相关的元素,包括核燃料元素铀、钍,天然放射性元素镭、钋,核反应堆、核试验及核恐怖应急所涉及的重要裂变产物和活性产物,如元素钡、铯、钴、碘、镉、铟、铊,以及常量元素钙。

3.4

微量元素 trace element

人体中含量小于体重 0.01% 的化学元素。

3.5

重要的微量元素 important trace element in human live

对人体健康具有重要意义的微量元素。人体在完成其生命周期和维持正常的新陈代谢过程所必需的微量元素称为必需微量元素,如铬、铜、铁、钼、硒、锌;无生物功能,但摄入过量会对机体产生有害作用的微量元素,称有害微量元素,如砷、汞、锡、铝、镉、铅。

4 参考值

4.1 人体的元素组成参考值

4.1.1 人体构成及其基本元素的组成参考值

人体是由水、脂肪、蛋白质、碳水化合物和矿物质所构成。水、脂肪、蛋白质和碳水化合物的基本元素组成参考值见表 1。

表 1 人体的构成及其基本元素组成参考值

%

构成	H	C	N	O	合计
水	11.2	—	—	88.8	100.0
脂肪	11.8	77.3	—	10.9	100.0
蛋白质	6.6	53.4	17.0	22.0	99.0 ^a
碳水化合物	6.2	44.5	—	49.3	100.0
注 1: “—”代表无数据。					
注 2: 本表来源于参考文献[1]。					
^a 另有 1%的 S。					

4.1.2 人体的元素组成参考值

人体的元素组成参考值见表 2。

表 2 中国人体的元素组成参考值

元素	占体重的百分比 %	元素	占体重的百分比 %
O	61.3	Al	0.33×10^{-3}
C	21.3	Cu	0.14×10^{-3}
H	9.57	Ba	6.70×10^{-5}
N	3.02	I	3.57×10^{-5}
Ca	1.40	Pb	2.30×10^{-5}
P	0.79	Se	1.89×10^{-5}
K	0.15	Cd	1.79×10^{-5}
Na	0.11	Cr	7.41×10^{-6}
Mg	29.0×10^{-3}	Mo	3.98×10^{-6}
Fe	9.0×10^{-3}	As	3.54×10^{-6}
Zn	3.0×10^{-3}	Zr	2.16×10^{-6}
Sr	0.55×10^{-3}	Co	1.5×10^{-6}
Rb	0.35×10^{-3}	Ce	1.29×10^{-6}

表 2 (续)

元素	占体重的百分比 %	元素	占体重的百分比 %
Cs	1.21×10^{-6}	U	7.41×10^{-8}
La	0.90×10^{-6}	Th	6.78×10^{-8}
Sn	8.54×10^{-7}	其他 ^a	2.36
Hg	6.24×10^{-7}	—	—

^a 包括元素 S、Cl、Si、F、Br、B、Ba 等。

4.2 成年人主要组织器官的元素含量参考值

4.2.1 成年男性和成年女性主要组织器官基本元素的含量参考值

成年男性和成年女性主要组织器官基本元素的含量参考值分别见表 3 和表 4。

表 3 成年男性主要组织器官的基本元素含量参考值

单位为克

组织/器官	H	C	N	O
肌肉	2.67×10^3	3.75×10^3	891	1.86×10^4
体脂	1.03×10^3	5.38×10^3	63.0	2.50×10^3
皮肤	240	490	101	1.55×10^3
脑	156	212	32.0	1.04×10^3
心脏	34.0	45.0	9.0	233
肝	145	262	40.0	946
肺	129	131	39.0	936
肾	30.0	38.0	9.0	210
胰	13.0	20.0	3.0	83.0
脾	17.0	19.0	5.0	122
胃	15.0	17.0	3.0	109
小肠	66.0	71.0	14.0	466
大肠	33.0	36.0	7.0	233
甲状腺	2.0	2.0	1.0	15.0
肾上腺	2.0	4.0	0.4	8.0
胸腺	3.0	8.0	1.0	18.0
睾丸	4.0	4.0	1.0	31.0
全血	510	550	165	3.73×10^3
骨骼	280	1.28×10^3	336	3.56×10^3
其他	651	1.07×10^3	161	4.25×10^3
全身	6.03×10^3	1.34×10^4	1.88×10^3	3.86×10^4

表 4 成年女性主要组织器官的基本元素含量参考值

单位为克

组织/器官	H	C	N	O
肌肉	2.15×10^3	3.02×10^3	717	1.50×10^4
体脂	1.43×10^3	7.48×10^3	88.0	3.48×10^3
皮肤	180	367	76.0	1.16×10^3
脑	142	193	29.0	947
心脏	30.0	40.0	8.0	208
肝	133	240	36.0	866
肺	99.0	101	30.0	719
肾	27.0	34.0	8.0	188
胰	11.0	17.0	2.0	69.0
脾	15.0	17.0	5.0	111
胃	12.0	13.0	2.0	83.0
小肠	48.0	52.0	10.0	338
大肠	25.0	28.0	5.0	180
甲状腺	2.0	2.0	0.4	13.0
肾上腺	1.0	3.0	0.4	8.0
胸腺	3.0	7.0	1.0	16.0
卵巢	1.0	1.0	0.3	8.0
全血	408	440	132	2.98×10^3
骨骼	210	960	252	2.67×10^3
其他	352	580	87.0	2.30×10^3
全身	5.28×10^3	1.36×10^4	1.49×10^3	3.13×10^4

4.2.2 成年男性和成年女性主要组织器官的常量元素含量参考值

成年男性和成年女性主要组织器官的常量元素含量参考值分别见表 5 和表 6。

表 5 成年男性主要组织器官的常量元素含量参考值

单位为毫克

组织/器官	Ca	K	Na	Mg	P
肌肉	1.57×10^3	5.35×10^4	1.70×10^4	4.82×10^3	4.09×10^4
体脂	360	729	1.08×10^3	81.0	765
皮肤	259	1.34×10^3	2.52×10^3	106	749
脑	28.0	3.4×10^3	2.0×10^3	212	—
心脏	21.0	686	345	56.0	692
肝	96.0	2.82×10^3	1.38×10^3	248	4.2×10^3
肺	113	1.81×10^3	1.64×10^3	125	1.8×10^3

表 5 (续)

单位为毫克

组织/器官	Ca	K	Na	Mg	P
肾	30.0	522	481	39.0	580
胰	13.0	238	109	19.0	263
脾	16.0	441	163	24.0	510
胃	17.0	171	146	19.0	260
小肠	87.0	682	511	78.0	998
大肠	35.0	85.0	111	25.0	154
甲状腺	6.0	29.0	29.0	2.0	38.0
肾上腺	1.0	10.0	9.0	1.0	14.0
胸腺	5.0	12.0	15.0	1.0	21.0
睾丸	4.0	67.0	76.0	3.0	51.0
全血	320	9.5×10^3	9.05×10^3	165	1.73×10^3
骨骼	8.80×10^5	9.12×10^3	2.78×10^4	1.16×10^4	4.41×10^5
其他	623	8.84×10^3	6.39×10^3	671	8.57×10^3
全身	8.84×10^5	9.39×10^4	7.08×10^4	1.83×10^4	5.03×10^5

表 6 成年女性主要组织器官的常量元素含量参考值

单位为毫克

组织/器官	Ca	K	Na	Mg	P
肌肉	1.27×10^3	4.3×10^4	1.37×10^4	3.88×10^3	3.29×10^4
体脂	500	1.01×10^3	1.50×10^3	109	1.06×10^3
皮肤	194	1.0×10^3	1.89×10^3	79.0	562
脑	25.0	3.1×10^3	1.82×10^3	193	—
心脏	19.0	612	307	50.0	618
肝	88.0	2.58×10^3	1.26×10^3	227	3.84×10^3
肺	86.0	1.39×10^3	1.26×10^3	96.0	1.38×10^3
肾	27.0	468	432	35.0	520
胰	11.0	198	91	16.0	219
脾	14.0	401	148	22.0	464
胃	13.0	130	111	14.0	197
小肠	63.0	495	371	56.0	725
大肠	27.0	66.0	86.0	19.0	119
甲状腺	5.0	24.0	24.0	2.0	32.0
肾上腺	1.0	9.0	8.0	1.0	13.0
胸腺	4.0	11.0	14.0	1.0	18.0

表 6 (续)

单位为毫克

组织/器官	Ca	K	Na	Mg	P
卵巢	—	17.0	18.0	1.0	—
全血	256	7.60×10^3	7.24×10^3	132	1.38×10^3
骨骼	6.60×10^5	6.84×10^3	2.09×10^4	8.70×10^3	3.31×10^5
其他	324	4.76×10^3	3.4×10^3	365	4.65×10^3
全身	6.63×10^5	7.38×10^4	5.45×10^4	1.40×10^4	3.79×10^5

4.2.3 成年男性和成年女性主要组织器官辐射防护重要元素含量参考值

成年男性和成年女性主要组织器官辐射防护重要元素含量参考值分别见表 7、表 8 和表 9、表 10。

表 7 成年男性主要组织器官的辐射防护重要元素含量参考值

组织/器官	U ng	Th ng	Ce ng	Co ng	Rb μg	Ba μg
肌肉	1.20×10^4	5.24×10^3	6.13×10^4	3.93×10^5	1.30×10^5	1.13×10^4
体脂	4.54×10^3	2.52×10^3	2.69×10^4	2.89×10^4	2.53×10^3	1.85×10^3
皮肤	2.40×10^3	1.48×10^3	2.23×10^4	6.05×10^3	2.50×10^3	312
脑	—	—	—	3.94×10^4	—	—
心脏	218	154	9.10×10^3	8.48×10^3	1.42×10^3	19.0
肝	620	423	1.29×10^5	5.70×10^4	1.03×10^4	133
肺	1.93×10^3	1.06×10^4	1.41×10^5	3.02×10^4	5.64×10^3	915
肾	319	78.0	626	3.83×10^3	1.33×10^3	15.0
胰	194	39.0	734	826	566	11.0
脾	63.0	49.0	396	782	911	10.0
胃	193	94.0	464	900	532	28.0
小肠	1.25×10^3	608	2.01×10^3	1.77×10^4	1.95×10^3	345
大肠	1.86×10^3	100	766	1.23×10^3	200	58
甲状腺	21.0	26.0	1.10×10^3	700	84.0	2.0
肾上腺	22.0	10.0	60.0	116	25.0	3.0
胸腺	37.0	22.0	218	140	28.0	5.0
睾丸	27.0	10.0	80.0	130	154	4.0
全血	500	750	2.85×10^3	3.30×10^3	1.31×10^4	350
骨骼	1.26×10^4	1.46×10^4	2.93×10^5	2.69×10^5	2.56×10^4	2.56×10^4
其他	7.91×10^3	5.95×10^3	1.22×10^5	8.74×10^4	2.12×10^4	1.24×10^3
全身	4.67×10^4	4.27×10^4	8.14×10^5	9.49×10^5	2.18×10^5	4.22×10^4

表 8 成年男性主要组织器官的辐射防护重要元素含量参考值

组织/器官	Cs ng	La ng	Zr ng	I μg	Sr μg
肌肉	5.45×10^5	7.76×10^4	2.75×10^5	4.45×10^3	3.67×10^3
体脂	7.29×10^3	4.01×10^4	2.48×10^5	458	1.13×10^3
皮肤	9.17×10^3	1.05×10^4	4.61×10^4	331	360
脑	—	—	—	—	131
心脏	3.41×10^3	3.86×10^3	1.20×10^4	46.0	52.0
肝	1.72×10^4	4.86×10^4	1.0×10^5	379	138
肺	2.05×10^4	7.79×10^4	3.5×10^4	193	231
肾	4.26×10^3	748	2.84×10^3	73.0	38.0
胰	1.20×10^3	234	1.94×10^3	33.0	18.0
脾	2.28×10^3	1.39×10^3	2.49×10^3	23.0	26.0
胃	1.49×10^3	2.19×10^3	1.16×10^3	27.0	49.0
小肠	6.09×10^3	8.87×10^3	1.58×10^4	131	264
大肠	698	1.49×10^3	2.49×10^3	45.0	262
甲状腺	232	260	940	1.32×10^4	8.0
肾上腺	48.0	58.0	225	2.0	2.0
胸腺	86.0	213	519	3.0	6.0
睾丸	363	46.0	303	5.0	5.0
全血	1.53×10^4	6.10×10^3	2.56×10^4	309	204
骨骼	7.09×10^4	2.16×10^5	4.54×10^5	1.84×10^3	3.38×10^5
其他	5.67×10^4	7.08×10^4	1.35×10^5	950	1.35×10^3
全身	7.62×10^5	5.67×10^5	1.36×10^6	2.25×10^4	3.46×10^5

表 9 成年女性主要组织器官的辐射防护重要元素含量参考值

组织/器官	U ng	Th ng	Ce ng	Co ng	Rb μg	Ba μg
肌肉	9.66×10^3	4.22×10^3	4.94×10^4	3.17×10^5	1.05×10^5	9.12×10^3
体脂	6.30×10^3	3.50×10^3	3.74×10^4	4.01×10^4	3.51×10^3	2.58×10^3
皮肤	1.80×10^3	1.11×10^3	1.67×10^4	4.54×10^3	1.87×10^3	234
脑	—	—	—	3.59×10^4	—	—
心脏	195	137	8.12×10^3	7.57×10^3	1.26×10^3	17.0
肝	568	387	1.18×10^5	5.21×10^4	9.43×10^3	122
肺	1.48×10^3	8.10×10^3	1.08×10^5	2.32×10^4	4.33×10^3	703

表 9 (续)

组织/器官	U ng	Th ng	Ce ng	Co ng	Rb μg	Ba μg
肾	286	70.0	562	3.43×10^3	1.19×10^3	13.0
胰	162	33.0	612	688	472	9.0
脾	57.0	44.0	360	711	828	9.0
胃	146	71.0	352	683	404	21.0
小肠	905	441	1.46×10^3	1.28×10^4	1.41×10^3	250
大肠	1.44×10^3	77.0	593	950	155	45.0
甲状腺	18.0	22.0	935	595	71.0	2.0
肾上腺	21.0	10.0	56	108	23.0	2.0
胸腺	33.0	20.0	196	126	25.0	4.0
卵巢	—	—	—	165	—	—
全血	400	600	2.28×10^3	2.64×10^3	1.05×10^4	280
骨骼	9.48×10^3	1.09×10^4	2.20×10^5	2.02×10^5	1.92×10^4	1.92×10^4
其他	4.40×10^3	3.17×10^3	6.58×10^4	4.94×10^4	1.07×10^4	651
全身	3.74×10^4	3.29×10^4	6.31×10^5	7.54×10^5	1.70×10^5	3.33×10^4

表 10 成年女性主要组织器官的辐射防护重要元素含量参考值

组织/器官	Cs ng	La ng	Zr ng	I μg	Sr μg
肌肉	4.39×10^5	6.25×10^4	2.22×10^5	3.59×10^3	2.95×10^3
体脂	1.01×10^4	5.56×10^4	3.44×10^5	636	1.56×10^3
皮肤	6.88×10^3	7.85×10^3	3.46×10^4	248	270
脑	—	—	—	—	120
心脏	3.05×10^3	3.45×10^3	1.07×10^4	41.0	46.0
肝	1.57×10^4	4.45×10^4	9.16×10^4	347	126
肺	1.57×10^4	5.98×10^4	2.69×10^4	148	178
肾	3.82×10^3	671	2.55×10^3	66.0	34.0
胰	1.0×10^3	195	1.62×10^3	28.0	15.0
脾	2.07×10^3	1.26×10^3	2.27×10^3	21.0	24.0
胃	1.13×10^3	1.66×10^3	880	20.0	38.0
小肠	4.42×10^3	6.44×10^3	1.15×10^4	95.0	192
大肠	540	1.15×10^3	1.93×10^3	35.0	203
甲状腺	197	221	799	1.13×10^4	6.0

表 10 (续)

组织/器官	Cs ng	La ng	Zr ng	I μg	Sr μg
肾上腺	45.0	54.0	209	2.0	2.0
胸腺	78	192	467	3.0	6.0
卵巢	—	—	—	1.0	2.0
全血	1.22×10^4	4.88×10^3	2.04×10^4	247	163
骨骼	5.32×10^4	1.62×10^5	3.40×10^5	1.38×10^3	2.54×10^5
其他	2.88×10^4	3.80×10^4	7.57×10^4	513	736
全身	5.98×10^5	4.50×10^5	1.19×10^6	1.86×10^4	2.60×10^5

4.2.4 成年男性和成年女性主要组织器官重要微量元素含量参考值

4.2.4.1 成年男性和成年女性主要组织器官必需微量元素含量参考值分别见表 11 和表 12。

表 11 成年男性主要组织器官的必需微量元素含量参考值

单位为微克

组织/器官	Cr	Cu	Fe	Mo	Se	Zn
肌肉	1.56×10^3	3.51×10^4	9.85×10^5	228	4.14×10^3	1.3×10^5
体脂	686	2.53×10^3	5.67×10^4	88.0	270	3.10×10^4
皮肤	104	1.26×10^3	2.69×10^4	46.0	257	1.36×10^4
脑	236	6.43×10^3	9.01×10^4	60.0	2.28×10^3	2.03×10^4
心脏	29.0	1.42×10^3	1.81×10^4	33.0	75.0	8.13×10^3
肝	148	1.25×10^4	3.98×10^5	1.14×10^3	525	7.6×10^4
肺	168	1.65×10^3	2.11×10^5	13.0	219	1.51×10^4
肾	18.0	812	2.62×10^4	73.0	249	9.95×10^3
胰	7.0	130	5.06×10^3	7.0	35.0	3.8×10^3
脾	11.0	15.0	5.15×10^4	2.0	46.0	2.62×10^3
胃	12.0	281	5.29×10^3	16.0	27.0	2.38×10^3
小肠	84.0	1.7×10^3	1.98×10^4	16.0	109	9.92×10^3
大肠	11.0	282	5.74×10^3	7.0	43.0	3.97×10^3
甲状腺	2.0	41.0	1.05×10^3	4.0	14.0	576
肾上腺	1.0	19.0	942	1.0	4.0	183
胸腺	3.0	17.0	717	3.0×10^{-1}	4.0	190
睾丸	3.4×10^{-1}	25.0	672	1.0	17.0	456
全血	53.0	3.7×10^3	2.53×10^5	7.0	555	3.61×10^4
骨骼	1.06×10^3	5.62×10^3	6.50×10^5	166	936	4.0×10^5
其他	978	1.24×10^4	6.27×10^5	613	2.15	1.23×10^5
全身	4.67×10^3	8.60×10^4	5.71×10^5	2.51×10^3	1.19×10^4	2.06×10^5

表 12 成年女性主要组织器官的必需微量元素含量参考值

单位为微克

组织/器官	Cr	Cu	Fe	Mo	Se	Zn
肌肉	1.26×10^3	2.83×10^4	7.93×10^5	183	3.33×10^3	1.05×10^6
体脂	953	3.51×10^3	7.88×10^4	123	375	4.30×10^4
皮肤	78.0	943	2.02×10^3	34.0	193	1.02×10^4
脑	215	5.86×10^3	8.21×10^4	55	—	1.85×10^4
心脏	25.0	1.26×10^3	1.62×10^4	29.0	67.0	7.25×10^3
肝	135	1.15×10^4	3.64×10^5	1.04×10^3	480	6.95×10^4
肺	129	1.27×10^3	1.62×10^5	10.0	168	1.16×10^4
肾	17.0	728	2.35×10^4	66.0	223	8.92×10^3
胰	6.0	108	4.22×10^3	6.0	29.0	3.17×10^3
脾	10.0	14.0	4.68×10^4	2.0	42.0	2.39×10^3
胃	9.0	213	4.02×10^3	12.0	21.0	1.80×10^3
小肠	61	1.23×10^3	1.44×10^4	11.0	79	7.20×10^3
大肠	8.0	218	4.44×10^3	5.0	33.0	3.07×10^3
甲状腺	2.0	35.0	889	3.0	12.0	490
肾上腺	1.0	18.0	875	1.0	4.0	170
胸腺	2.0	15.0	645	—	3.0	171
卵巢	13.0	10.0	490	3.0	—	119
全血	42.0	2.96×10^3	2.02×10^6	6.0	444	2.89×10^4
骨骼	798	4.21×10^3	4.87×10^5	125	702	3.0×10^5
其他	742	6.76×10^3	3.44×10^5	380	835	6.65×10^4
全身	3.93×10^3	6.91×10^4	4.47×10^6	2.09×10^3	7.04×10^3	1.63×10^6

4.2.4.2 成年男性和成年女性主要组织器官有害微量元素含量参考值分别见表 13 和表 14。

表 13 成年男性主要组织器官的有害微量元素含量参考值

组织/器官	Sn ng	As ng	Hg ng	Al μg	Cd μg	Pb μg
肌肉	1.72×10^5	6.55×10^5	1.57×10^5	5.97×10^4	3.14×10^3	1.88×10^3
体脂	6.57×10^4	2.02×10^5	2.37×10^4	2.27×10^4	117	1.19×10^3
皮肤	1.77×10^4	9.17×10^4	838	1.68×10^3	51.0	130
脑	—	—	—	—	153	215
心脏	2.84×10^3	1.05×10^4	2.29×10^3	279	37.0	25.0
肝	3.10×10^4	5.73×10^4	2.33×10^4	2.23×10^3	1.36×10^3	541
肺	3.89×10^4	3.29×10^4	8.25×10^3	2.5×10^4	526	209
肾	3.51×10^3	8.41×10^3	8.99×10^3	225	1.71×10^3	46.0

表 13 (续)

组织/器官	Sn ng	As ng	Hg ng	Al μg	Cd μg	Pb μg
胰	682	4.10×10^3	1.14×10^3	103	69	13.0
脾	1.23×10^3	5.31×10^3	921	147	33.0	31.0
胃	1.0×10^3	4.47×10^3	789	140	37.0	8.0
小肠	5.68×10^3	1.18×10^4	868	6.94×10^3	44.0	40.0
大肠	1.59×10^3	9.11×10^3	626	812	27.0	15.0
甲状腺	118	1.06×10^3	120	256	12.0	1.00
肾上腺	110	389	45.0	24.0	2.00	2.00
胸腺	157	900	135	88.0	1.00	2.00
睾丸	303	1.42×10^3	229	36.0	3.00	1.00
全血	3.44×10^4	1.27×10^5	3.15×10^3	2.03×10^3	14.0	500
骨骼	1.02×10^5	8.16×10^5	8.0×10^4	6.15×10^4	600	8.96×10^3
其他	5.94×10^4	1.94×10^5	4.48×10^4	2.33×10^4	3.35×10^3	720
全身	5.38×10^5	2.23×10^6	3.93×10^5	2.07×10^5	1.13×10^4	1.45×10^4

表 14 成年女性主要组织器官的有害微量元素含量参考值

组织/器官	Sn ng	As ng	Hg ng	Al μg	Cd μg	Pb μg
肌肉	1.38×10^5	5.28×10^5	1.27×10^5	4.81×10^4	2.53×10^3	1.52×10^3
体脂	9.13×10^4	2.80×10^5	3.29×10^4	3.15×10^4	163	1.65×10^3
皮肤	1.32×10^4	6.88×10^4	6.28×10^3	1.26×10^3	39.0	98
脑	—	—	—	—	140	196
心脏	2.54×10^3	9.40×10^3	2.04×10^3	249	33.0	22.0
肝	2.84×10^4	5.24×10^4	2.13×10^4	2.04×10^3	1.25×10^3	495
肺	2.99×10^4	2.52×10^4	6.34×10^3	1.92×10^4	404	160
肾	3.15×10^3	7.54×10^3	8.06×10^3	202	1.51×10^3	42.0
胰	568	3.42×10^3	946	86.0	58.0	11.0
脾	1.12×10^3	4.83×10^3	837	133	30.0	28.0
胃	759	3.39×10^3	598	106	28.0	6.0
小肠	4.12×10^3	8.55×10^3	630	5.04×10^3	32.0	29.0
大肠	1.23×10^3	7.06×10^3	485	629	21.0	11.0
甲状腺	100	903	102	218	10.0	1.00
肾上腺	102	361	41.0	22.0	2.00	2.00

表 14 (续)

组织/器官	Sn ng	As ng	Hg ng	Al μg	Cd μg	Pb μg
胸腺	141	810	122	79.0	1.00	2.00
卵巢	—	—	—	—	2.00	1.00
全血	2.75×10^4	1.02×10^5	2.52×10^4	1.62×10^3	12.0	400
骨骼	7.68×10^4	6.12×10^5	6.0×10^4	4.61×10^4	450	6.72×10^3
其他	3.25×10^4	1.04×10^5	2.45×10^4	1.32×10^4	1.81×10^3	397
全身	4.52×10^5	1.82×10^6	3.17×10^5	1.70×10^5	8.52×10^3	1.18×10^4

4.3 参考值的计算

组织器官的元素浓度及其含量参考值的计算见附录 A。

4.4 参考值的正确使用

正确使用本标准参考值的说明见附录 B。

附录 A

(规范性附录)

组织器官的元素浓度及其含量参考值的计算

A.1 组织器官中基本元素的份额(%)及其含量参考值的计算

A.1.1 组织器官中基本元素份额

组织器官中基本元素的份额(%)见表 A.1。

表 A.1 主要组织器官基本元素占组织器官质量份额

%

组织/器官	H	C	N	O	合计
肌肉	10.2	14.3	3.4	71.0	98.9
体脂	11.4	59.8	0.7	27.8	99.7
皮肤	10.0	20.4	4.2	64.5	99.1
脑	10.7	14.5	2.2	71.2	98.6
心脏	10.4	13.9	2.9	71.8	99.0
肝	10.3	18.6	2.8	67.1	98.8
肺	10.3	10.5	3.1	74.9	98.8
肾	10.3	13.2	3	72.4	98.9
胰	10.6	16.9	2.2	69.4	99.1
脾	10.3	11.3	3.2	74.1	98.9
胃	10.6	11.5	2.2	75.1	99.4
小肠	10.6	11.5	2.2	75.1	99.4
大肠	10.6	11.5	2.2	75.1	99.4
甲状腺	10.4	11.9	2.4	74.5	99.2
肾上腺	10.5	25.6	2.7	60.2	99.0
胸腺	10.5	25.6	2.7	60.2	99.0
睾丸	10.6	9.9	2	76.6	99.1
全血	10.2	11	3.3	74.5	99.0
骨骼	3.5	16	4.2	44.5	68.2
卵巢	10.5	9.3	2.4	76.8	99.0
其他	10.5	17.3	2.6	68.6	99.0

注：本表来源于文献[1]。

A.1.2 组织器官中基本元素含量参考值的计算

用公式(A.1)计算组织器官中基本元素含量参考值:

$$B_{it} = S_{it}(\%) \times W_t \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

B_{it} ——组织器官 t 中基本元素 i 的含量参考值;

S_{it} ——元素 i 占组织器官质量的份额(见表 A.1), %;

W_t ——组织器官 t 的质量, 单位为克(g), 见 GBZ/T 200.2 提供的质量。

A.2 成年人组织器官中的元素浓度及其含量参考值计算

A.2.1 成年人组织器官的元素浓度

A.2.1.1 成年人主要组织器官常量元素浓度

成年人主要组织器官常量元素浓度见表 A.2。

表 A.2 成年人组织器官中常量元素浓度^a

单位为克每千克

组织/器官	Ca	K	Na	Mg	P
肌肉	6.0×10^{-2}	2.04	0.65	0.18	1.56
体脂	4.0×10^{-2}	8.0×10^{-2}	0.12	1.0×10^{-2}	9.0×10^{-2}
皮肤	0.11	0.56	1.05	4.0×10^{-2}	0.31
脑	2.0×10^{-2}	2.33	1.37	0.15	—
心脏	7.0×10^{-2}	2.11	1.06	0.17	2.13
肝	7.0×10^{-2}	2.00	0.98	0.18	2.98
肺	9.0×10^{-2}	1.45	1.31	0.10	1.44
肾	0.11	1.80	1.66	0.13	2.00
胰	0.11	1.98	0.91	0.16	2.19
脾	0.10	2.67	0.99	0.15	3.09
胃	0.11	1.18	1.01	0.13	1.79
小肠	0.14	1.10	0.82	0.13	1.61
大肠	0.11	0.27	0.36	8.0×10^{-2}	0.50
甲状腺	0.28	1.43	1.44	0.12	1.88
肾上腺	9.0×10^{-2}	0.70	0.62	8.0×10^{-2}	1.01
胸腺	0.16	0.39	0.51	4.0×10^{-2}	0.68
睾丸	9.0×10^{-2}	1.67	1.90	9.0×10^{-2}	1.27
卵巢	2.0×10^{-2}	1.56	1.60	0.10	—

表 A.2 (续)

单位为克每千克

组织/器官	Ca	K	Na	Mg	P
全血	6.0×10^{-2}	1.90	1.81	3.0×10^{-2}	0.35
骨骼	110	1.14	3.48	1.45	55.1
其他	0.100	1.43	1.03	0.11	1.38

^a 鲜重状态下的成年人组织器官中常量元素浓度。

A.2.1.2 成年人主要组织器官辐射防护重要元素浓度

成年人主要组织器官辐射防护重要元素浓度见表 A.3。

表 A.3 成年人组织器官的辐射防护重要元素浓度^a

单位为微克每千克

组织/器官	U	Th	Rb	Ba	Ce	Co
肌肉	0.460	0.200	4.96×10^3	432	2.34	15.0
体脂	0.500	0.280	281	206	2.99	3.21
皮肤	1.00	0.620	1.04×10^3	130	9.28	2.52
脑	—	—	—	—	—	27.0
心脏	0.670	0.470	4.36×10^3	59.1	28.0	26.1
肝	0.440	0.300	7.31×10^3	94.2	91.4	40.4
肺	1.54	8.44	4.51×10^3	732	113	24.2
肾	1.10	0.270	4.58×10^3	50.0	2.16	13.2
胰	1.62	0.330	4.72×10^3	90.8	6.12	6.88
脾	0.380	0.290	5.52×10^3	62.5	2.40	4.74
胃	1.33	0.650	3.67×10^3	190	3.20	6.21
小肠	2.01	0.980	3.14×10^3	556	3.24	28.5
大肠	6.00	0.320	644	186	2.47	3.96
甲状腺	1.06	1.32	4.19×10^3	97.0	55.0	35.0
肾上腺	1.58	0.730	1.76×10^3	184	4.27	8.32
胸腺	1.22	0.730	930	163	7.25	4.68
睾丸	0.660	0.240	3.86×10^3	102	1.99	3.25
卵巢	—	—	—	—	—	15.0
全血	0.100	0.150	2.62×10^3	70.0	0.570	0.660
骨骼	1.58	1.82	3.20×10^3	3.20×10^3	36.6	33.6
其他	1.28	0.960	3.42×10^3	200	19.8	14.1

表 A.3 (续)

单位为微克每千克

组织/器官	Cs	I	La	Sr	Zr
肌肉	20.8	170	2.96	140	10.5
体脂	0.810	50.9	4.45	125	27.5
皮肤	3.82	138	4.36	150	19.2
脑	—	—	—	90.0	—
心脏	10.5	143	11.9	160	37.0
肝	12.2	269	34.5	98.0	71.0
肺	16.4	154	62.3	185	28.0
肾	14.7	252	2.58	130	9.80
胰	10.0	278	1.95	151	16.2
脾	13.8	140	8.40	160	15.1
胃	10.3	183	15.1	341	8.0
小肠	9.82	211	14.3	426	25.5
大肠	2.52	146	4.81	844	8.04
甲状腺	11.6	6.62×10^5	13.0	380	47.0
肾上腺	3.46	174	4.13	160	16.1
胸腺	2.88	97.9	7.10	206	17.3
睾丸	9.07	136	1.14	120	7.57
卵巢	—	136	—	166	—
全血	3.06	61.8	1.22	40.8	5.11
骨骼	8.86	230	27.0	4.23×10^4	56.7
其他	9.15	153	11.4	217	21.7

* 鲜重状态下成年人组织器官的辐射防护重要元素浓度。

A.2.1.3 成年人主要组织器官重要微量元素浓度

A.2.1.3.1 成年人组织器官的必需微量元素浓度见表 A.4。

表 A.4 成年人组织器官的必需微量元素浓度^a

单位为微克每千克

组织/器官	Cr	Cu	Fe	Mo	Se	Zn
肌肉	59.5	1.34×10^3	3.76×10^4	8.69	158	4.98×10^4
体脂	76.2	281	6.30×10^3	9.80	30.0	3.44×10^3
皮肤	43.5	524	1.12×10^4	19.1	107	5.66×10^3
脑	162	4.40×10^3	61.7×10^3	41.0	1.56×10^3	1.39×10^4
心脏	87.8	4.36×10^3	5.58×10^4	100	230	2.50×10^4
肝	105	8.90×10^3	2.82×10^5	805	372	5.39×10^4

表 A.4 (续)

单位为微克每千克

组织/器官	Cr	Cu	Fe	Mo	Se	Zn
肺	134	1.32×10^3	1.69×10^5	10.2	175	1.21×10^4
肾	63.5	2.80×10^3	9.02×10^4	252	858	3.43×10^4
胰	59.9	1.08×10^3	4.22×10^4	55.5	288	3.17×10^4
脾	67.2	92.0	3.12×10^5	13.8	279	1.59×10^4
胃	82.4	1.94×10^3	3.65×10^4	108	188	1.64×10^4
小肠	136	2.74×10^3	3.19×10^4	25.0	176	1.60×10^4
大肠	35.3	909	1.85×10^4	21.7	139	1.28×10^4
甲状腺	92.7	2.05×10^3	5.23×10^4	183	698	2.88×10^4
肾上腺	74.6	1.38×10^3	6.73×10^4	87.7	312	1.31×10^4
胸腺	84.1	554	2.39×10^4	9.89	117	6.33×10^3
睾丸	8.68	635	1.68×10^4	26.8	433	1.14×10^4
卵巢	1.16×10^3	888	4.46×10^4	290	—	1.08×10^4
全血	10.5	740	5.06×10^5	1.40	111	7.22×10^3
骨骼	133	702	8.12×10^4	20.8	117	5.0×10^4
其他	158	2.0×10^3	1.01×10^5	98.8	346	1.99×10^4

^a 鲜重状态下成年人组织器官的必需微量元素浓度。

A.2.1.3.2 成年人主要组织器官有害微量元素浓度见表 A.5。

表 A.5 成年人组织器官的有害微量元素浓度^a

单位为微克每千克

组织/器官	Al	As	Cd	Hg	Pb	Sn
肌肉	2.28×10^3	25.0	120	6.0	71.8	6.55
体脂	2.52×10^3	22.4	13.0	2.63	132	7.30
皮肤	701	38.2	21.4	3.49	54.3	7.36
脑	—	—	105	—	147	—
心脏	859	32.4	115	7.03	77.1	8.74
肝	1.58×10^3	40.6	965	16.5	384	22.0
肺	2.0×10^4	26.3	421	6.60	167	31.1
肾	776	29.0	5.88×10^3	31.0	160	12.1
胰	855	34.2	576	9.46	111	5.68
脾	888	32.2	201	5.58	189	7.44
胃	968	30.8	256	5.44	56.8	6.90
小肠	1.12×10^4	19.0	70.8	1.40	65.3	9.16
大肠	2.62×10^3	29.4	85.7	2.02	47.7	5.13
甲状腺	1.28×10^4	53.1	591	6.02	66.7	5.88

表 A.5 (续)

单位为微克每千克

组织/器官	Al	As	Cd	Hg	Pb	Sn
肾上腺	1.72×10^3	27.8	159	3.18	152	7.85
胸腺	2.92×10^3	30.0	47.4	4.50	80.6	5.24
睾丸	896	35.5	87.2	5.73	28.7	7.57
卵巢	—	—	158	—	71.0	—
全血	405	25.4	2.88	6.30	100	6.87
骨骼	7.69×10^3	102	75.0	10.0	1.12×10^3	12.8
其他	3.76×10^3	31.3	540	7.23	116	9.58

* 鲜重状态下成年人组织器官的有害微量元素浓度。

A.2.2 组织器官的元素含量参考值计算

用公式(A.2)计算组织器官的元素含量参考值

$$B_{it} = C_{it} \times W_t \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

B_{it} ——组织器官 t 中元素 i 的含量参考值,单位为微克(μg);

C_{it} ——组织器官 t 中元素 i 的浓度($\mu\text{g}/\text{kg}$ 鲜重),见表 A.2~表 A.4;

W_t ——组织器官 t 的质量,单位为克(g),见 GBZ/T 200.2 提供的质量,参考文献[2]。

注:成年人主要组织器官的元素浓度是引自参考文献[3]~[6]成年男子组织器官的元素浓度和女性卵巢元素浓度的实测值。

A.3 人体不同发育阶段组织器官元素含量参考值的计算

除新生儿外,人体各个不同发育阶段的组织器官的元素浓度基本一致,成年人组织器官的元素浓度值可用于除新生儿外任何发育阶段组织器官的元素含量参考值的计算(ICRP 第 89 号出版物)。故当需要少年期、儿童期、学龄前期、婴幼儿期的各元素的组织器官含量参考值时,可用公式(A.1)计算其基本元素碳、氢、氧、氮的含量参考值。可用公式(A.2)计算组织器官的其他元素含量参考值。

附 录 B

(资料性附录)

正确使用本标准参考值的说明

B.1 按 ICRP 第 89 号出版物,各发育阶段的年龄范围和代表值划分为,新生儿期指从出生至 6 个月,代表年龄 0.25 岁;婴幼儿期指 7 个月~3 岁,代表年龄 1 岁;学龄前期指 4 岁~6 岁,代表年龄 5 岁;儿童期指 7 岁~13 岁,代表年龄 10 岁;少年期指 14 岁~17 岁,代表年龄 15 岁;成年期指 18 岁以上。

B.2 在辐射防护领域用于前瞻性内照射剂量估算和人体体模组织等效材料研制时,根据被估算对象的性别、年龄选择(或计算)相应代表年龄段的组织器官的元素含量参考值。

参 考 文 献

- [1] ICRP. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values [M]. Annals of the ICRP Publication 89, Values 32(3-4), 2002: 243-244
 - [2] 王继先, 陈如松, 等. 中国参考人解剖生理和代谢数据[M]. 北京: 原子能出版社. 1999: 177-195
 - [3] 诸洪达, 王京宇, 武权, 等. 中国成年男子器官、组织中元素浓度研究[J]. 北京: 中华放射医学与防护杂志. 2007, 27(4): 353-363
 - [4] 诸洪达, 王京宇, 武权, 等. 中国成年男子器官、组织和全身元素负荷量研究[J]. 北京: 中华放射医学与防护杂志. 2007, 27(4): 364-368
 - [5] Wang J.X., Chen L.S., Zhu H.D. Study in China on ingestion and organ content of trace elements of importance in radiological protection [J]. Food and Nutrition bulletin. 2002, (3) (supplement): 217-221
-