·基础研究·

全国核医学现状与发展趋势研究分析

赵徵鑫[1] 王强[1] 杨陆婷[1] 杨勇[1] 王海华[1] 景丽艳[1] 焦玲[2]

[1]杭州市职业病防治院 310014；[2]北京协和医学院 中国医学科学院放射医学研究所，天津市放射医学与分子核医学重点实验室 300192

通信作者：焦玲，Email：jiaoling@irm-cams.ac.cn

【摘要】 **目的** 分析全国核医学的现状与发展趋势，为国家科学、有效地利用核医学资源及为相关主管部门制定核医学发展规划提供参考。**方法** 依据中华医学会核医学分会对中国核医学现状的 5 次普查结果，从学科基本信息、药物制备情况、设备情况、人员情况、教学及人才培养情况和制约科室发展等情况对全国核医学现状与发展趋势进行综合分析。**结果** 核医学相关科室数量出现显著增长，2018 年的相关科室数量达到 927 个，与 2010 年相比，增长了 5.94%。其中，核医学科室增长最为明显，由 2010 年的 601 个，增长至 2018 年的 765 个，增长幅度为 27.29%。正电子放射性药物自制单位数由 2012 年的 46 家增长至 2018 年的 107 家。正电子显像设备数量由 2012 年的 138 台增长至 2018 年的 307 台，增长了 122.46%，单光子显像设备数量由 2012 年的 605 台增长至 2018 年的 857 台，增长了 41.65%。核医学科室人员的数量，2010 年为 6838 人，2018 年为 9090 人。2018 年培养博士研究生的教学机构有 112 家(2014 年为 52 家)，培养硕士研究生的有 223 家(2010 年为 98 家)。制约科室发展的因素包括行政和经济制约、人才和设备缺乏、知识和科研不足、宣传不足。**结论** 全国核医学现状基本具有良好的发展态势，在核医学人才培育、学科建设等方面日趋完善。但仍存在诸多制约核医学发展的因素，相关主管部门应该出台相应的政策给予引导和支持。

【关键词】 核医学；现状；分析

基金项目：天津市自然科学基金重点项目(16JCZDC36100)

DOI：10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2020.02.004

Current situation and development trend of nuclear medicine in China

Zhao Zhixin[1], Wang Qiang[1], Yang Luting[1], Yang Yong[1], Wang Haihua[1], Jing Liyan[1], Jiao Ling[2]

[1]Hangzhou Hospital for the Prevention and Treatment of Occupational Disease, Hanghzou 310014, China; [2]Tianjin Key Laboratory of Radiation Medicine and Molecular Nuclear Medicine, Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences &Peking Union Medical College, Tianjin 300192, China

Corresponding author: Jiao Ling, Email: jiaoling@irm-cams.ac.cn

【**Abstract**】 **Objective** To analyze the current situation and development trend of nuclear medicine in China and to provide references for the scientific and effective utilization of nuclear medicine resources and the formulation of development policies by relevant competent authorities. **Methods** The current situation and development trend of nuclear medicine in China were analyzed using five censuses conducted by the Chinese Society of Nuclear Medicine that contain basic information on the discipline, drug preparation, equipment, personnel, teaching and training, and development restrictions for the department. **Results** The number of nuclear medicine-related departments has increased remarkable and reached 927 in 2018, which is 5.94% higher than that in 2010. The highest increase of 27.29% was observed from 601 in 2010 to 765 in 2018. The number of self-made positron radiopharmaceuticals also increased from 46 in 2012 to 107 in 2018, and those of positron and single-photon imaging equipment increased by 122.46% and 41.65%, respectively, from 138 and 605 in 2012 to 307 and 857 in 2018, respectively. The number of personnel in nuclear medicine departments was 6838 in 2010 and increased to 9090 in 2018. In addition, 112 and 223

teaching institutions (from 52 and 98 in 2014 and 2010, respectively) have become available to train doctoral and master students, respectively, in 2018. The factors restricting the advancement of departments include administrative and economic constraints, insufficient publicity, and lack of talents, equipment, knowledge, and scientific research. **Conclusions** At present, the current status of nuclear medicine in the country has a good development trend, and it is becoming more and more perfect in the training of nuclear medicine talents and discipline construction. The hospital has formed a good training ladder and a talent team with a reasonable structure. However, there are still many factors restricting the development of nuclear medicine. In order to better promote the development of nuclear medicine in China, relevant authorities should issue corresponding policies to provide guidance and support.

【**Key words**】 Nuclear medicine; Current situation; Analysis

Fund program: Key Project of Natural Science Foundation of Tianjin (16JCZDJC36100)

DOI：10.3760/cma.j.issn.1673−4114.2020.02.004

近年来，核医学发展迅速，核医学的诊断与治疗呈现快速增长趋势[1-2]。由于核医学主要借助核技术对患者进行诊疗，因此近年来医务人员和患者总的医疗照射剂量水平也显著上升。临床核医学诊疗中医患双方的辐射防护问题，随着诊疗设备与患者的激增已经引起了社会的广泛关注。放射性药物在患者体内不能短时间内被完全排出或衰变，给医患人员和周围公众带来了潜在的辐射危害[3-5]，因此，加强核医学诊疗中医患人员的剂量评价，从而保障患者和相关人员的辐射安全，就显得尤为重要。规范核医学设备的临床运行和使用，提高核医学临床应用的数量与质量及医患人员的安全意识和防护水平，是目前急需解决的问题[6-8]。为此，全面掌握我国核医学发展现状和变化趋势，不仅可以为国家制定科学的核医学学科建设工作计划提供依据，还可以为有关主管部门制定针对性的政策提供更加详实的参考数据。

1 资料和方法

本次研究的依据是中华医学会核医学分会对中国核医学现状 5 个年度的普查结果[9-13]。统计数据来源于我国 30 个省、直辖市及自治区的核医学现状数据。本研究主要内容分为 6 个方面，包括学科基本信息、药物制备情况、设备基本情况、核医学人员情况、教学及人才培养情况和制约科室发展等情况。

2 结果

2.1 学科基本信息

由表 1~2 可见，2010 年我国核医学相关科室共有 875 个，其中核医学科 601 个、同位素室 37 个、放免室 61 个、SPECT 室 34 个、检验科或其他科 142 个；核医学相关科室中隶属核医学科的占 65.70%(575/875)、隶属医学影像或放射科的占 3.36%(29/875)、隶属其他科室的占 30.94%(217/875)。2018 年，核医学相关科室共有 927 个，其中核医学科 765 个、同位素室 11 个、放免室 9 个、SPECT 室 57 个、检验科或其他科 85 个；核医学相关科室中隶属核医学科的占 76.80%(712/927)，隶属医学影像或放射科的占 12.40%(115/927)，独立 PET 或 PET/CT 中心占 3.30%(31/927)，放疗中心占 0.90%(8/927)，隶属其他科室的占 6.60%(61/927)。

由表 3 可见，2010 年核医学相关科室设立门诊占 57.60%、设置病房占 19.20%、开展单光子显像业务占 53.71%、开展正电子显像业务占 9.37%、开展放免检测占 60.11%、开展非放免检测占 43.10%；2018 年设立门诊占 58.70%、设置病房占 26.86%、开展单光子显像业务占 67.40%、开展正电子显像业务占 31.20%、开展放免检测占 31.40%、开展非放免检测占 35.50%。在 5 个年度的统计结果中，核医学相关科室设立门诊和病房的比例较为稳定；开展放免检测与非放免检测的比例均呈逐渐下降趋势；开展正电子显像业务比例呈逐渐增长趋势；而开展单光子显像业务比例在 2016 年达到最高(72.20%)，2018 年较 2016 年比例虽然减少，但科室数量并未发生明显变化(2016 年 643 个、2018 年度 625 个)。

2.2 放射性药物制备情况

由表 4 可见，在 5 个年度的统计结果中，正电

表 1 不同年份核医学相关科室的名称和数量(个)

Table 1 Names and quantities of nuclear medicine-related departments in different years

年份	核医学科	同位素室	放免室	SPECT室	检验科或其他科	合计
2010年	601	37	61	34	142	875
2012年	620	23	18	31	75	767
2014年	–	–	–	–	–	838
2016年	732	16	6	49	137	891
2018年	765	11	9	57	85	927

注：表中，SPECT：单光子发射计算机体层摄影术；–：无此项数据

表 2 不同年份核医学科隶属科室的百分数(%)

Table 2 Percentage of nuclear medicine departments in different years (%)

年份	核医学科	医学影像或放射科	独立PET或PET/CT中心	放疗中心	其他
2010年	65.70	3.36	–	–	30.94
2012年	81.00	1.00	–	–	18.00
2014年	63.37	10.89	19.80%	–	5.94
2016年	73.70	10.30	3.50	0.80	11.70
2018年	76.80	12.40	3.30	0.90	6.60

注：表中，PET：正电子发射断层显像术；CT：计算机体层摄影术；–：无此项数据

表 3 不同年份核医学相关科室业务开展情况(所占百分数，%)

Table 3 Development of nuclear medicine-related departments(percentage,%)

年份	设立门诊	设置病房	单光子显像	正电子显像	放免检测	非放免检测
2010年	57.60	19.20	53.71	9.37	60.11	43.10
2012年	63.00	22.00	61.00	–	50.20	40.68
2014年	57.80	22.90	65.00	–	42.48	38.42
2016年	61.50	27.30	72.20	26.30	37.80	39.50
2018年	58.70	26.86	67.40	31.20	31.40	35.50

注：表中，–：无此项数据

子放射性药物自制单位数由 2012 年的 46 家增长至 2018 年的 107 家，而非自制单位数由 2012 年的 129 家增长至 239 家；非正电子放射性药物自制单位数较为稳定，由 2010 年的 210 家增长至 2018 年的 244 家，而非自制单位数由 2010 年的 277 家增长至 2018 年的 399 家。

2.3 设备基本情况

不同年份显像设备情况显示，2012 年正电子显像设备数为 138 台、单光子显像设备数为 605 台；2018 年正电子显像设备数和单光子显像设备数分别为 307 台和 857 台(表 5)。

由表 6 可见，截至 2018 年全国共有 307 台正电子显像设备，主要分布在北京市、广东省、江苏省、上海市及山东省。拥有正电子显像设备数量较多的前 5 位省市共有 136 台设备，占 44.3%；而拥有仪器数量较少的后 11 位的省市，共拥有仪器 28 台，占 9.1%。

2.4 核医学人员情况

由表 7 可见，在 5 个年度的统计结果中，就核医学相关科室人员数量而言，与 2010 年相比(6838 人)，2018 年的人员数量为 9090 人，增长了 32.93%，而与 2016 年(9467 人)相比，人员数量出现小幅度下降，下降比例为 3.98%；2018 年，医师和护士的数量分别为 3950 和 1637 人，是 2010 年的 1.47 倍和 1.55 倍，呈现快速增长趋势；2018 年，放化师和物理师的数量则分别为 2012 年的 2.86 倍和 2.56 倍。技师的数量则未发生显著变化。在人员职称方面，2010 年高级职称、副高级职称、中级职称、初级职称及其他人数分别为 453、968、2542、2875 人，而 2018 年分别为 660、1280、3109、4041 人(表 8)。在人员学历方面，2010 年，博士学历、硕士学历、本科学历、专科及专科以下学历的人数

表 4　不同年份核医学相关科室放射性药物制备情况(家)

Table 4　Drug preparation of nuclear medicine-related departments in different years

年份	正电子放射性药物		非正电子放射性药物	
	自制药物	非自制药物	自制药物	非自制药物
2010年	–	–	210	277
2012年	46	129	226	270
2014年	72	108	234	311
2016年	70	164	385	257
2018年	107	239	244	399

注：表中，–：无此项数据

表 5　不同年份显像设备情况(台)

Table 5　tatus of imaging devices in different years

年份	正电子显像设备	单光子显像设备
2010年	–	–
2012年	138	605
2014年	201	659
2016年	246	766
2018年	307	857

注：表中，–：无此项数据

分别为 301、978、2776、2783 人，而 2018 年分别为 608、1843、4447、2192 人(表 9)。

2.5　教学及人才培养情况

由表 10 可见，2018 年博士研究生教学机构 112 家、硕士研究生教学机构 223 家、本科教学机构 565 家、专科教学机构 133 家及成人教学机构 62 家。排除 2010 和 2012 年未统计的数值，在 5 个年度的统计结果中，2018 年的机构数量最多(成人机构除外)，且博士和硕士教学机构数量基本处于递增趋势，而成人教学机构处于递减趋势；本科教学机构处于先增长后降低再增长的变化趋势；专科教学机构数量变化趋势不大(表 10)。

由表 11 可知，在 2018 年全国核医学的调查结果中，从事核医学相关专业的博士生导师、硕士生导师、在读博士生和在读硕士生分别为 116、361、246 和 792 人[13]，与 2010 年的统计结果[9] 相比均出现了显著性增长，分别增长了 132.00%、64.84%、98.39%、62.30%。在 5 个年度的统计结果中，博士生导师的数量呈递增趋势，但 2016 至 2018 年增长趋势最明显，增长率为 43.21%；硕士生导师的数量呈先增长后下降再增长趋势，2014 年的数量最多，达 502 人。在读博士生的数量也呈现递增趋势，且在 2012 至 2014 年度增长最为明显，后增长趋势趋于平缓。在读硕士生数量变化为先增长后下降，在 2016 年达到最高(998 人)(表 11)。

表 6　2018 年度 307 台正电子显像设备的数量及分布情况

Table 6　Number and distribution of 307 pieces of positron-electronic imaging equipment in 2018

数量(台)	满足条件的省、直辖市、自治区
34	北京市
31	广东省
27	江苏省
24	上海市
20	山东省
15	辽宁省、浙江省
11	安徽省、河北省、湖北省、陕西省、四川省
10	福建省
8	黑龙江省、天津市
7	河南省、吉林省
6	海南省、山西省、新疆维吾尔自治区
4	广西壮族自治区、江西省、内蒙古自治区、重庆市
3	甘肃省、云南省
2	湖南省
1	贵州省、宁夏回族自治区、青海省、西藏自治区

2.6　制约核医学科室发展的情况

在 5 个统计年度中，核医学相关科室均面临着不同程度的制约科室发展的因素(表 12)。根据最新统计结果(2018 年)[13] 可知，制约核医学发展的因素主要集中在以下 4 个方面：①行政和经济制

表 7　不同年份核医学相关科室不同工作种类的人数及比例(人，%)

Table 7　Work types of nuclear medicine-related departments in different years (person, %)

年份	医师	技师	护士	放化师	物理师	其他	合计
2010年	2687(39.30)	2458(35.95)	1058(15.47)	–	–	635(9.28)	6838(100)
2012年	2827(41.00)	2276(33.00)	1173(17.00)	66(1.00)	41(1.00)	515(7.40)	6898(100)
2014年	3818(44.00)	2777(32.00)	1735(20.00)	174(2.00)	87(1.00)	87(1.00)	8678(100)
2016年	4012(42.40)	2799(29.60)	1938(20.50)	207(2.20)	156(1.60)	274(2.90)	9467(100)
2018年	3950(43.40)	2580(28.40)	1637(18.00)	189(2.10)	105(1.10)	629(7.00)	9090(100)

注：表中，–：无此项数据

表 8 不同年份核医学相关科室人员职称情况(人，%)

Table 8 Professional titles of staff in nuclear medicine-related departments in different years (person, %)

年份	高级职称	副高级职称	中级职称	初级职称及其他	合计
2010年	453(6.62)	968(14.16)	2542(37.18)	2875(42.04)	6838(100)
2012年	515(7.46)	1033(14.97)	2375(34.43)	2975(43.13)	6898(100)
2014年	694(8.00)	1302(15.00)	3124(36.00)	3558(41.00)	8678(100)
2016年	627(6.62)	1341(14.16)	3519(37.18)	3980(42.04)	9467(100)
2018年	660(7.30)	1280(14.10)	3109(34.20)	4041(44.40)	9090(100)

表 9 不同年份核医学相关科室人员学历情况(人，%)

Table 9 Educational background of staff in nuclear medicine-related departments in different years (person, %)

年份	博士学历	硕士学历	本科学历	专科及专科以下学历	合计
2010年	301(4.40)	978(14.30)	2776(40.60)	2783(40.70)	6838(100)
2012年	294(4.26)	996(14.44)	2524(36.59)	3084(44.71)	6898(100)
2014年	521(6.00)	1475(17.00)	4339(50.00)	2343(27.00)	8678(100)
2016年	531(5.60)	1591(16.80)	4070(43.00)	3275(34.60)	9467(100)
2018年	608(6.70)	1843(20.30)	4447(48.90)	2192(24.10)	9090(100)

表 10 不同年份核医学相关专业的教学情况(家)

Table 10 Teaching situation of nuclear medicine-related majors in different years

年份	博士研究生教学机构	硕士研究生教学机构	本科教学机构	专科教学机构	成人教学机构
2010年	–	98	258	122	–
2012年	–	118	264	87	–
2014年	52	160	345	123	81
2016年	41	140	283	105	72
2018年	112	223	565	133	62

注：表中，–：无此项数据

约；②人才和设备缺乏；③知识和科研不足；④宣传不足。

3 讨论

在 2010 至 2018 年 5 个年度的统计结果中，2018 年的科室数量最多(927 个)，较 2010 年(875 个)新增 5.94%；核医学科室和 SPECT 室数量基本处于递增趋势；同位素室数量呈递减趋势；放免室数量先逐渐减少后于 2018 年小幅增长。较 2010 年，核医学科新增 27.29%、SPECT 室新增 67.67%、同位素室减少 70.27%、放免室减少 85.25%，导致这种情况的原因可能是医院为了优化资源配置将相关科室进行了合并。

从 5 年的统计结果来看，正电子放射性药物自制和非自制单位数基本都处于递增趋势；非正电子放射性药物自制单位数较为稳定，而非自制单位数除 2016 年外均处于稳步增长状态。由于医院科室技能的提升，越来越多的单位都具备了药物制备能力，因此正电子放射性药物自制单位数呈递增趋势。而正电子放射性药物自制和非自制单位数基本都处于递增趋势，这主要是由于核医学相关科室数量的增加。

2012 至 2018 年中，全国正电子显像设备平均每两年增长 30.54%；单光子显像设备平均每两年增长 12.31%。这两种设备的增长速度均高于 10%。目前，在每百万人口 PET/CT 数量方面，中国大陆为 2.14，略高于中国台湾地区的 1.75，但低于美国的 4.39 和韩国的 4.18。因此，尽管我国核医学设备数量增长幅度较大，但与其他国家和地区相比还有较大提升空间。国家相关主管单位仍需在核医学发展方面出台更好的政策，鼓励我国核医学的发展。

目前，中国正电子显像设备整体分布极不均匀，产生这种情况的主要原因可能与各省市经济发展水平相关。2017 年，五省市(北京市、广东省、江苏省、上海市和山东省)的 GDP 总额为 329 365 亿，占全国 GDP 总额的 36.58%，约为拥有仪器数量较少的后 11 位省市、自治区(广西壮族自治区、江西省、内蒙古自治区、重庆市、甘肃省、云南省、湖南省、贵州省、宁夏回族自治区、青海省、西藏自治区)GDP 总额(329 365 亿)的 19.92 倍。在经济较发达地区，人民对健康的要求较高，需求较大，医疗资源也较为丰富，再加上核医学诊疗费用

表 11　不同年份从事核医学相关专业的导师及在读研究生情况(人)

Table 11　Tutors and graduate students engaged in nuclear medicine in different years

年份	博士生导师	硕士生导师	在读博士生	在读硕士生
2010年	50	219	124	488
2012年	51	227	143	433
2014年	73	502	216	849
2016年	81	307	237	998
2018年	116	361	246	792

表 12　制约核医学科室发展的主要问题

Table 12　The main factors which can restrict the development of nuclear medicine departments

年份	制约科室发展的主要问题
2010年	1、人才，尤其是高级人才匮乏； 2、核医学知识在临床的普及亟待加强； 3、有关核医学检查项目未列入医保； 4、基层医院科研水平不高； 5、缺乏核医学体外免疫检测的质控标准。
2012年	1、高级专业人才匮乏，尤其是放射性药物相关人才稀缺，很多单位出现职称断层； 2、核医学诊疗规范与指南缺乏，无章可循； 3、PET/CT未纳入医保范畴，影响患者就诊； 4、核医学设备应用不规范和质量控制标准不统一； 5、核医学设备临床应用数量不高，质量不高。
2014年	1、人才和设备缺乏，科研不足，多头监管和经济制约； 2、PET/CT未纳入医保范畴，影响患者就诊； 3、核医学设备应用不规范和质量控制标准不统一； 4、核医学设备临床应用数量不高，质量不高。
2016年	1、人才和设备缺乏，科研不足，多头监管和经济制约； 2、PET/CT未纳入医保范畴，影响患者就诊； 3、核医学设备应用不规范和质量控制标准不统一； 4、核医学设备临床应用数量不高，质量不高。
2018年	1、行政和经济制约； 2、人才和设备缺乏； 3、知识和科研不足； 4、宣传不足。

注：表中，PET/CT：正电子发射断层显像计算机体层摄影术

较高，因此核医学相关设备在经济较发达地区分布较多。但部分省仅有 1 台正电子显像设备，无法满足基本的群众就医需求。因此，国家相关主管单位应出台相关政策，合理分配诊疗资源，避免出现大量病患过度集中在少量诊疗机构而发生“看病难”“看病贵”的问题。

核医学相关科室人员数量基本处于快速增长状态。与 2010 年相比，2018 年的人员数量增长了 32.93%；而与 2016 年相比，人员数量出现小幅度下降，下降比例为 3.98%。这可能是由于中国核医学经过几年的快速发展，人员更新较快，至 2018 年时，人员出现部分退休而未及时进行新员工的填补。在科室人员工种方面，医师、技师和护士占据科室人员数量的 90% 以上。物理师所占人员比例较为稳定，医师、护士及放化师所占人员比例稳步上升，但技师所占比例逐渐下降。尽管人员数量快速增长，但人员结构配比不合理，且部分医院出现部分工种缺失，核医学科实际运转均由医师和护士操作，这极有可能导致操作不规范。因此，我国核医学人员配备在后续发展中仍需合理优化。

在科室人员职称方面，从 5 个年度统计结果来看，不同职称人员所占比例基本处于稳定状态。由此可知，我国核医学人员在职称方面形成了良好的职称评定程序和梯度建设。在科室人员学历方面，专科及专科以下学历人员所占比例逐渐下降，博士、硕士及本科学历人员所占比例稳步上升，产生这种现象的主要原因是核医学发展迅速，医务人员的现有技能不能满足日益增长的技能要求。因此，越来越多的人选择继续深造，以此来提升自己的专业技能。

目前，核医学相关设备更新换代较快，在实际核医学诊疗中，对医务人员的专业技能要求也相应提高很多。因此，选择继续深造的学生数量逐渐增多。为满足学生对继续教育日益增长的要求，国家也相应增加了教学机构的数量，博士生导师和硕士生导师数量也呈快速增长趋势。

统观 5 个年度的结果可知，制约核医学科室发展的因素未得到有效改变，仍主要集中在上述 4 个方面。产生这种情况的主要原因可能存在以下几个方面：①核医学起步较晚，但发展迅速，高校和医院培养人才的速度满足不了人才需求的速度；②核医学知识未得到有效普及，或者普及力度不足，基层医院无法进行有效支持；③核医学相关知识和设备更新速度较快，国家相关法规和标准更新滞后，老标准无法适应核医学新发展要求；④同一事项多头监管，部分医院特别是基层小医院核医学科室效益较差。为更好地促进我国核医学事业的发展，建议相关主管部门可从以下几个方面着手以改善现状：①加强各类人才的培养和培训；②及时制定和

更新核医学诊疗规程与指南，使基层医院有章可循、有法可依；③规范核医学设备的应用和质量控制标准，提高核医学设备临床应用的数量和质量；④将核医学诊疗中花费较高的诊疗及时纳入医保范畴。

在以往的统计调查中，研究者只对单个年度进行统计调查，并未对以往多个年度进行系统的分析研究。在本研究中，我们针对以往多个年度的统计结果进行系统地分析，可使中国核医学发展现状的趋势得到更加清晰、直观地呈现。通过此次分析，找出中国历年核医学变化规律和趋势，为国家相关主管单位提供更加详实、清晰的依据，也为他们优化资源配置、制定更符合中国核医学发展的方针和举措提供参考。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展，不涉及任何利益冲突。

作者贡献声明 赵微鑫负责论文的撰写；王强、杨陆婷、杨勇、王海华、景丽艳负责数据整理和论文校对；焦玲负责研究总体设计和指导。

参 考 文 献

[1] Dewaraja YK, Wilderman SJ, Koral KF, et al. Use of Integrated SPECT/CT Imaging for Tumor Dosimetry in I-131 Radioimmunotherapy: A Pilot Patient Study[J]. Cancer Biother Radiopharm, 2009, 24(4): 417−426. DOI: 10.1089/cbr.2008.0568.

[2] 高林峰, 郭常义, 郑钧正, 等. 上海市“十一五”期间医疗照射水平调查[J]. 环境与职业医学, 2009, 26(6): 528−531.
Gao LF, Guo CY, Zheng JZ, et al. Investigation on Medical Exposure Levels during the Eleventh Five-year Plan in Shanghai[J]. J Environ Occup Med, 2009, 26(6): 528−531.

[3] Jha AK, Singh AM, Shetye B, et al. Radiation safety audit of a high volume Nuclear Medicine Department[J]. Indian J Nucl Med, 2014, 29(4): 227−234. DOI: 10.4103/0972−3919.142625.

[4] Xie TW, Lee C, Bolch WE, et al. Assessment of radiation dose in nuclear cardiovascular imaging using realistic computational models[J]. Med Phys, 2015, 42(6): 2955−2966. DOI: 10.1118/1.4921364.

[5] Lindner O, Pascual TNB, Mercuri M, et al. Nuclear cardiology practice and associated radiation doses in Europe: results of the IAEA Nuclear Cardiology Protocols Study (INCAPS) for the 27 European countries[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2016, 43(4): 718−728. DOI: 10.1007/s00259−015−3270−8.

[6] 袁志斌, 周志俊. 核医学从业人员的职业暴露与放射防护[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2011, 35(1): 49−53. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673−4114.2011.01.014.
Yuan ZB, Zhou ZJ. Occupational exposure and radiation protection of nuclear medicine professional staffs[J]. Int J Radiat Med Nucl Med, 2011, 35(1): 49−53. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673−4114.2011.01.014.

[7] 岳保荣. 医用辐射防护中的热点问题[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2014, 34(2): 81−82. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254−5098.2014.02.001.
Yue BR. New and hot points in medical radiation protection[J]. Chin J Radiol Med Prot, 2014, 34(2): 81−82. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254−5098.2014.02.001.

[8] 李宁, 柴华, 肖国有. 核医学工作人员和受检者辐射防护现状[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2017, 41(4): 298−302. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673−4114.2017.04.012.
Li N, Chai H, Xiao GY. The status of radiation protection and control strategy for nuclear medicine workers and patients[J]. Int J Radiat Med Nucl Med, 2017, 41(4): 298−302. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673−4114.2017.04.012.

[9] 中华医学会核医学分会. 2010 年全国核医学现状普查[J]. 中华核医学杂志, 2010, 30(6): 428−429. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253−9780.2010.06.019.
Chinese Society of Nuclear Medicine. A brief report on the results of the national survey of nuclear medicine in 2010[J]. Chin J Nucl Med, 2010, 30(6): 428−429. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253−9780.2010.06.019.

[10] 中华医学会核医学分会. 2012 年全国核医学现状普查简报[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2012, 32(5): 357, 362.
Chinese Society of Nuclear Medicine. A brief report on the results of the national survey of nuclear medicine in 2012[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2012, 32(5): 357, 362.

[11] 中华医学会核医学分会. 2014 年全国核医学现状普查简报[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2014, 34(5): 389. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095−2848.2014.05.012.
Chinese Society of Nuclear Medicine. A brief report on the results of the national survey of nuclear medicine in 2014[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2014, 34(5): 389. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095−2848.2014.05.012.

[12] 中华医学会核医学分会. 2016 年全国核医学现状普查结果简报[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2016, 36(5): 479−480. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095−2848.2016.05.024.
Chinese Society of Nuclear Medicine. A brief report on the results of the national survey of nuclear medicine in 2016[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2016, 36(5): 479−480. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095−2848.2016.05.024.

[13] 中华医学会核医学分会. 2018 年全国核医学现状普查结果简报[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2018, 38(12): 813−814. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095−2848.2018.12.010.
Chinese Society of Nuclear Medicine. A brief report on the results of the national survey of nuclear medicine in 2018[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2018, 38(12): 813−814. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095−2848.2018.12.010.

（收稿日期: 2019−09−09）