

# 医学物理学科的发展和现状

汤晓斌 戴耀东 陈 达

## 医学物理学科

在人类璀璨的科学知识宝库中,物理学和医学是两个重要的分支,而且物理学与医学的结合给物理学的发展带来了巨大的活力,也给医学诊疗技术带来了革命,医学物理(medical physics)学科正是这一结合的产物。医学物理学科是物理学的一个分支,是将物理学的原理、方法和相关技术应用于临床医学的诊断和治疗中的一门新兴边缘学科,它侧重于临床医学中的技术支持、诊断与治疗的基础理论、医疗仪器与设备的研发等物理原理与技术。

医学物理学主要包括辐射物理(radiological physics)、放射治疗物理(therapeutic radiological physics)、影像诊断物理(diagnostic imaging physics)、核医学物理(medical nuclear physics)与医学保健物理(medical health physics)五大内容。医学物理学主要研究内容有:人体器官或系统的机能以及正常或异常过程的物理解释,人体组织的物理性质以及物理因子对人体的作用,人体内生物电、磁、声、光、热等物理现象的认识,物理仪器(显微镜、摄谱仪、X线机、CT和核磁共振仪等)和物理测量技术的医学应用。

医学物理学科培养的学生是同时精通物理和熟悉医学的复合型人才。这些人才主要从事医学物理学科发展中的教学科研、医学临床诊断与治疗的技术支持、医疗仪器和设备生产厂家的研发以及在相关的政府、学会和第三者机构中担当管理人员。从职业需求人数来看,以上4个领域的职业需求人才数量是相当大的;从职业的分类来看,在临床工作的医学物理师、医疗仪器和设备产业的工作人员将是医学物理专业学生就业的主要领域。

## 医学物理学科的发展历史

医学物理学科的发展史是物理学和医学越来越紧密结合的过程,也是物理学、新理论和新技术不断



转化为新医疗仪器设备和新医学诊断治疗手段的过程,更是100多年来无数医学物理学家通过不断研究开发并获得累累硕果,从而推动人类医学在诊断和治疗方面取得一个又一个突破的过程。

医学物理学是一门年轻的学科,它起源于19世纪末发现的放射性现象,特别是X射线的发现。国外最早出现医学物理这个学科大约是在19世纪50年代,而且直到19世纪60

年代末70年代初才迎来它的第一个发展的高峰,这一阶段的两个重要的发展标志:一是在欧美等发达国家先后成立了多个以医学物理学科为背景的国际行业学会。例如IFMBE(International Federation of Medical and Biological Engineering)于1959年创立,IOMP(International Organization for Medical Physics)于1963年创立;二是随着计算机技术的迅速发展,信息数字技术被应用到医学领域,比如X射线CT的成功发明,推动放射学和医学影像学获得了突破性进展。

表1 与医学物理学科有关的诺贝尔奖获奖情况

时间	奖项	获奖者	获奖原因
1903	生理学或医学奖	芬森	光辐射疗法治疗皮肤病
1924	生理学或医学奖	埃因托芬	发现心电图机制
1946	生理学或医学奖	马勒因	发现X射线辐照引起人体变异
1977	生理学或医学奖	耶洛因	建立放射免疫分析法
1979	生理学或医学奖	科马克、蒙斯菲尔德	发明CT扫描
2003	生理学或医学奖	劳特布尔、曼斯菲尔德	核磁共振应用于人体成像

医学物理学科是一门多学科交叉的前沿学科,纵观历届诺贝尔奖,跟医学物理学科直接相关的获奖次数多达6次(见表1)。而且由于新技术和新发明均具有很强的应用价值,因此它们一诞生就能很快地被应用于医疗实践,为人类的健康和医学发展做出了巨大的贡献。目前医学物理学科已经成为

21 世纪的前沿学科之一。医学物理学发展至今,已形成了以肿瘤放射物理学和医学影像物理学为核心的两个分支。在医学物理学的发展史上,这两个分支是互相交织、共同发展的。

X 射线的发现及其在医学上的应用,以及其后现代医学影像学的形成和发展,是自然科学史上的一个重大的里程碑。它开创了 X 线诊断学、放射学的新纪元,而且在相当程度上改变了医学科学尤其是临床医学的进程,为人类疾病的诊治做出了巨大贡献。

X 射线(简称 X 线)具有穿透物体的能力,有感光、荧光和电离作用及热效应,还对生物组织具有抑制、损伤甚至坏死的生物效应。自从 X 线发现以来的一个多世纪中,人类对 X 线的产生及其应用,从理论研究到工程开发都进行了大量的工作并且取得了巨大的进展,创造出许多诊断、治疗和科学研究用 X 线医学影像设备。如 X 线机、X 线计算机辅助断层扫描(X 线 CT)、数字减影血管造影(DSA)、计算机放射摄影(CR)和数字放射摄影(DR)等。同时基于计算机处理的图像融合技术的发展更是大大推动了 X 线医学影像学的发展。

40 年代后,医学影像学的发展取得了令人瞩目的成就。超声、放射性核素、超声体层、放射性核素体层、磁共振(MR)体层成像相继应用于临床。医学影像学发展至今已经成为了与内科、外科并列的三大诊疗技术。应用多成像技术的影像诊断学和介入放射学共同构成了诊断和治疗兼备的现代医学影像学。特别值得一提的是正电子发射型计算机断层成像技术(PET),开创了在分子水平无创伤性研究人脑功能和心肌存活情况的先河,使核医学进入了分子核医学的时代。

除了以上介绍的医学影像学之外,从 20 世纪三四十年代开始随着核技术和医学科学相结合,从早期的研究电离辐射对生命系统作用规律,生命系统吸收剂量后的全部变化,射线对生命物质及各细胞组织、器官和系统的作用机理、损伤机理、修复机理的发展特点,探索诊断方法、预防措施和治疗原则以及提高治疗水平,又形成了放射生物学、放射医学、剂量学、辐射防护、放射肿瘤学等一系列分支学科。

这里以放射肿瘤学的发展为例(见表 2)。从伦琴发现 X 射线至二次世界大战结束,作为现代放射肿瘤学发展史中的准备阶段,是在放射物理学、放射生物学这两大基础上逐渐奠定的。1945~1955 年

则从低能射线治疗转向高能治疗,高能工具( $^{60}\text{Co}$  治疗机、直线加速器研制)使肿瘤放疗疗效逐步发展。放射性核素应用大大地提高了放疗的基础研究及临床实践水平。到 60 年代,临床上普遍使用了直线加速器,尤其是电子束的运用影响很大。放疗的发展使单一的外科扩大根治术逐步发展成放疗和手术相结合的综合治疗。放射生物学、热疗学均进入了发展高潮,装源机治疗推动了近程治疗的发展并使之有了生机。70 年代中期影像学开始高速发展,CT 的问世将放疗带到了精确治疗时代,同时计算机工业化时代的进展,使放射治疗剂量空间分布达到相当精确的程度,放射生物学的一些理论及其临床运用也使剂量的时间分配向合理化方向前进。与此同时,也开始了对中子、质子、负  $\pi$  介子和重离子等的应用进行研究,出现 X 刀和  $\gamma$  刀。80 年代开始由于施行更为严格的疗效对比统计,合理的综合治疗,如热疗、化疗、手术治疗、放疗更加有机的组合。80 年代后,70% 的恶性肿瘤都进行放射治疗。

表 2 放射肿瘤学发展历史一览表

1895 年	伦琴发现 X 射线,随后 X 射线成像用于医学诊断
1896 年	贝克勒尔发现天然放射性
1898 年	居里夫妇提炼出天然放射性元素镭,镭被用于放射治疗
1899 年	有人开始用 X 射线试治皮肤癌;也同时发现 X 射线致癌
1902 年	X 射线治疗皮肤癌获得成功
1917 年	开始使用经皮途径镭盒来治疗较为深在的肿瘤
1920 年	200 千伏级的 X 线治疗机问世
1923 年	G. de Hevesey 创立放射性示踪原理
1932 年	Coutard 创立每日一次照射的连续分割法
1934 年	Joliot Curie 发明人工放射性
1937 年	R. Stone 发明中子放射治疗法
1938 年	Hertz, Roberts, Evans 利用 $^{131}\text{I}$ , $^{125}\text{I}$ 对甲状腺进行研究
1939 年	J. Lawrence 将人工放射性同位素用于治疗
1948 年	放射性碘定位脑肿瘤手术
1950 年	重水型核反应堆获得人工 $^{60}\text{Co}$ , 促使 $^{60}\text{Co}$ 治疗机问世
1952 年	在热核反应堆中产生 $^{252}\text{Cf}$ , 可用于临床
1953 年	英国 Hammer Smith 医院最早安装 8MeV 自馈型行波加速器
1954 年	J. Lawrence 发明质子放射治疗法
1958 年	医用 $\gamma$ 闪烁照相机发明
1960 年	放射免疫技术建立
1962 年	发明 Mo - Tc 发生器体内显像药物
1963 年	头颅同位素扫描机研制成功
1968 年	第一台 $\gamma$ 刀问世
1972 年	第一台头颅 XCT 研制成功
1974 年	第一台 PET 问世
1974 年	重离子用于放射治疗
1977 年	NMR - CT 研制成功

研究医学物理学学科的起源与发展,可以清楚地看到,随着放射医学和医学影像学的发展,人类在临

床诊治实践中提出了各类急需解决的物理问题。正是在这种情况下,医学物理这个学科才逐步建立起来;而医学物理学科的每一项新理论、新技术、新方法的出现都导致了医学,尤其是医学影像学和放射肿瘤学在诊断和治疗方面取得重大突破。

### 国外医学物理学科的发展现状

国际医学物理学发展非常迅速,已形成医学影像学物理学和放射肿瘤物理学两大主流内容,形成几十个分支学科,在医学中应用的深度和广度可以用突飞猛进来形容。其中现代医学影像物理学、肿瘤放射物理学、医学信息学等领域是最为突出的部分。不仅在欧美等发达国家,甚至包括马来西亚、尼泊尔等国家,医学物理学已经被社会和政府广泛重视。

国外医学物理学科的发展具有以下5个特点:

1)英美等发达国家的医学物理学科已经十分完善,他们的学科设置完全由社会需要进行调节,并给医学物理学科自身的发展留有巨大空间。各国都拥有相当数量的医学物理研发中心,吸引很多科研人员来从事研究工作。

2)医学物理学科既和医疗机构有关,又和医疗器械行业的发展有关,并和信息产业的发展关系密切,所以得到了政府及企业提供的大量经费。特别需要强调的是,医学物理师获得的资助远多于放射医师。

3)医学物理师的人才培养体系日益完善。在国外,早在上个世纪的五六十年代就已经建立了医学物理师制度,并成立了以医学物理为专业背景的国际或国内的行业协会。例如,美国医学物理师协会(AAPM)1999年已经拥有近5000名会员,其中有约2/3从事肿瘤放射治疗,其余1/3从事诊断影像和核医学等工作。

4)英美国家的一些大学建立医学物理系已经有很长的时间,如芝加哥大学医学物理系、威斯康星大学医学物理系及谢菲尔德大学医学物理系都有数十年的历史。这些医学物理系经过长期的发展、不断地完善,现在从课程设置、入学要求到学制、毕业要求都比较成熟。

5)医学物理学科“产学研”紧密结合。英美等国的医学物理系一般都有对外的研究所或公司,拥有自己的专利技术。行业竞争促进了医疗设备制造厂商与医学物理系专家的合作研究,以发展他们的产品,同时也给医学物理专家提供了大量的技术、经济

支持和鼓励科研创新的临床试验环境。

在英美等发达国家,由于有各种基金会和学会的教育研究基金资助,医学物理师可以得到较好的医学物理基础知识和技能训练的机会。在一些大学,培养医学物理师的医学物理学研究训练课程设置得详细而严密;例如,美国的威斯康星大学医学物理系为研究生开出的课程有28门之多,其中包括了与医学影像学中所有成像模式、放疗和放疗剂量、剂量标准等相关的专业课程。美国的医学物理学教育一般是与医院共同完成的,与医院结合得非常密切。AAPM在1993年和1994年分别发表了题为《物理医师在肿瘤放疗中的作用》和《临床医学物理医师在辐射诊断中的作用》的AAPM报告,明确了医学物理医师在临床中的地位和作用。

过去25年,国外与医学物理学有关的杂志数量大量涌现,而且一些有名的物理学专业杂志也接收医学物理方面的论文,使医学物理论文的发表十分活跃。以发表研究型论文为主的专业杂志,如 *Medical Physics*, 提供了研究方法的交流场所,成为学者的科研论坛,鼓励和促进了高质量的医学物理学研究。

### 我国医学物理学科的发展现状

目前在国内,尽管有一部分科研院所和高校开展了与医学物理学科相关的研发和人才培养工作,比如北京大学、四川大学、解放军第三军医大学等学校相继设立了医学物理专业硕士点,南京航空航天大学也于2003年在国内设立了第一个医学物理(物理类)本科专业。但我们不得不清醒地认识到,医学物理学科作为一个新事物在国内还没有得到广泛的认知、认同和重视,它的发展处于刚刚起步的阶段。

我国的医学物理学科现状与英美等发达国家相比较,差距是相当大的,主要表现在以下4个方面:

1)我国目前尚未建立起完整的医学物理学科人才教育培养体系。例如,国家教委批准设置的高等学校本科专业名单中还没有医学物理本科专业,南京航空航天大学2003年招收培养的第一届医学物理专业本科生也是以“物理类”的名义招生的。我国医科大学的物理课程安排太少,而且几十年来内容变化很小,企图从医学转向医学物理方向的学生知识结构严重不足。而我国目前生物医学工程专业的培养目标及课程设置绝大多数是偏重于医学工程或医学影像设备,但为临床放疗科及影像科培养的临

床医学物理学工作者很少。

2) 我国医院内尚未设立医学物理师岗位。在我国各级医院里主要由没有接受过系统培训的医生或技术员承担着国外由医学物理师所作的工作,这对病人来说是很危险的。90年代以来,尽管我国已进口或国产了大批以医学影像和放疗设备为代表的高精密医疗设备、复杂的大型医学软件,但由于医学物理师的紧缺,许多新设备不能得到很好的利用,造成资源的浪费。

3) 由于我国没有医学物理学科,具备医学物理学科背景的人才严重缺乏。多年来国内医院影像技术人员所做的技术工作多属“经验型”;医院大量的技术人员得不到良好的医学物理专业培训和技术指导;很多使用先进医疗仪器设备的医院经常不得不高薪聘请国外生产厂家的技术人员前来维修和维护。

4) 我国医疗仪器制造行业技术水平落后。各级医院大量使用进口高档医疗设备,每年要花费大量的外汇。很多先进的高档医疗设备,如MRI、SPECT、PET、超声波诊断仪、 $\gamma$ 刀等,有的目前国内还无法生产,有的即使能生产,虽然价格便宜,但因质量无法与外国生产商的产品相抗衡,使用效果也不理想,很多医院仍然选择昂贵的国外设备。

综合上述情况看,我国医学物理学科的发展现状与英美等发达国家相比较差距是很明显的。所以,相对于医学物理这一新兴学科在国际上迅猛发展的现状,面对国内众多医疗机构紧缺医学物理师的迫切需求,在我国尽快“引入”这一学科并且高度重视这一学科的发展是极具战略意义和现实价值的。

#### 医学物理学科的主要研究方向

医学放射生物学 随着人类在生产、生活和科学研究活动中与辐射接触的机会越来越多,大剂量非均匀辐射场(核爆炸或放射性事故)会引起何种伤害,小剂量电离辐射慢性作用引起的损伤,环境低水平辐射长期作用的生物学效应,都是人类关切的问题。射线通过人体的器官、组织是在亚细胞和细胞的微观分子层面上进行的,并不能简单由宏观现象去推论,那里剂量场是很不均匀的,相对生物学效应也不同于已有的认识。不同的细胞(正常的、恶变的)在不同周期里对辐射敏感性、耐受度各不相同。医学放射生物学领域中存在着许多未知因素,借助于先进的现代分析仪器与设备,人们可以从以往的冷冻切片的静态观察发展为动态在线观察,这方面

我国的研究基础还十分薄弱,需要加强。

此外,用蒙特卡罗(Monte Carlo)方法模拟各种射线与生物组织的作用过程是当前研究的重要内容之一。尽管目前利用蒙特卡罗原理模拟计算粒子输运过程的方法有很多,有些已经取得了相当不错的进展,但是距离替代传统放疗的模拟治疗的目标还有许多的工作要做。国外有科研人员认为,蒙特卡罗方法在医学物理学科研究中的作用仍然存在很大程度上的低估。

放射治疗计划系统研究与设计 放射治疗计划的设计是一个很复杂的过程。现有的放射治疗计划系统基本上还是基于物理剂量的治疗计划系统,在实施放射治疗中较多的是依赖于医疗人员的临床经验。在对靶区作剂量计划时不考虑靶区内的肿瘤组织对剂量的不同的放射生物效应。因此,虽然剂量计算精确,但治疗效果未必最佳。需对不同病灶状态、不同的射线类型研究、设计并提出科学、有效、严格的治疗计划。如果治疗计划考虑到放射生物效应,可以使精确的剂量计算发挥其最佳的治疗效果,提高肿瘤治愈率。

这一领域的工作对于医学物理学科工作人员来说,还有一个长远但非常重要的任务,这就是建立肿瘤放射治疗计划专家系统。在国外已经有组织和机构开始了这一工作。这一工作要求医学物理学家更紧密地与临床医师接触,广泛而深入地参与放疗计划的制定工作及研究工作。

医学电磁生理信息处理技术 医学电磁生理信息处理技术的研究是指应用并发展信息处理的基本理论,根据生物医学信号的特点,对所采集到的医学电磁生理信号进行分析、辨认、解释、分类、显示、存储和传输;其研究目的,一是对生物体系结构与功能的研究,二是协助对疾病的诊断和治疗。医学中电磁生理信号是弱信号,开展获取与处理技术研究,正常和异常状态下的比较、分析以及给药和射线作用下电磁生理信息变化状态研究是当今研究的热点。

核医学显像技术 核技术与图像相结合形成的显像技术与设备对观察病人身体内部结构,诊断疾病起到了巨大的作用。如今,放射性核素显像技术已成为现代四大医学影像技术之一,特别是对心血管疾病、脑血管疾病和肿瘤等当今人类重大疾病的诊断。

各类显像设备的成像探测器多半使用的是医用闪烁体,它的需求量巨大,但目前尚无高发光效率、

为什么宇宙中的物质  
与反物质不等量

宇宙学家认为在大爆炸

中产生了相等数量的物质与反物质。如果物质与反物质粒子是严格地彼此相反的，它们应该已经发生湮灭而只剩下光子。然而，我们的宇宙是以物质为主的，这意味着大爆炸之后物质与反物质经历了不同的过程。为说明这种过剩的物质，粒子物理的标准模型预言，物质和反物质的衰变速率略有不同。这种被称做电荷-宇称破坏(CP violation)的效应是1964年在K介子中首先间接观察到的。

3年前，BarBar研究组和日本KEK实验室的Belle合作组分别在另一种称作B介子的粒子中首次发现了间接的CP破坏。BarBar组通过正负电子对撞产生大量的B介子和反B介子。B介子及其反粒子寿命非常短，很快衰变成其他较轻的粒子，如K介子和 $\pi$ 介子。通过非常精确地测量衰变速率，BarBar组观测到B介子比其反粒子衰变得略微慢一些。

如今BarBar组的科学家们通过分析2亿对以

上的B和反B介子的衰变观测到了“直接”的CP破坏。在多种衰变方式中，他们寻找B介子衰变为 $K^+\pi^-$ 对和反B介子衰变为 $K^-\pi^+$ 对的稀有事件。理论预言，这两种事件发生的概率应该是相等的，因而，实验上应能观测到相等数量的 $K^+\pi^-$ 对和 $K^-\pi^+$ 对。但是BarBar的科学家们发现情况并非如此，他们找到910对 $K^-\pi^+$ ，而只找到696对 $K^+\pi^-$ 。换句话说，物质与反物质的衰变存在着很大的差别。

虽然以前在K介子衰变的实验中观测到过直接的CP破坏，但其效应只有百万分之几，而这一次B介子的实验观测到的CP破坏要强得多。这项新的测量是SLAC的PEP-II加速器和BarBar探测器效率改进的结果。改进后的探测器现在可以探测大约98%的碰撞事件。SLAC主任Jonathan Dorfan说：“这一观测结果是向着把宇宙中关于物质与反物质的各种不解之谜组合起来的重要一步。”数据分析的负责人之一、普林斯顿大学的James Olsen说：“我们观测到了由于直接的CP破坏机制所导致的清楚而强烈的物质与反物质不对称行为的信号。”

(周书华编译自Physics web News 2004. 8. 3)

快发光衰减、高密度、光谱有良好响应匹配的闪烁体，各国仍在作为重点和热点研究。无定型硅探测器的空间排列已是一个成熟的研究领域，但需要指出的是，对于使用锥形射线的X射线断层成像法，如何通过高灵敏性的排列方式获得具体信息数据来确定患者病变组织空间方位的这一细节性的研究，是当今医学物理学科研究的一个重要方向。

尽管近20年来增加了许许多多新的诊断设备，如正电子发射断层、磁共振成像等，它们对人体的内部结构分辨得更清楚、更精细，但是所有目前这些技术，与X线诊断一样，它们的诊断基础仍然是人体解剖学和病理学。尽管这些技术很有用，但不能早期直接回答肿瘤的良好恶性问题。往往还是靠作离体细胞学或病理学才能最后确认。在治疗方法上仍然采用外科手术、放化疗、介入治疗等。而分子成像的出现，为新的医学影像时代到来带来曙光。基因表达、治疗则使彻底治愈某些疾病成为可能，因此目前全世界都在致力于研究、开创分子影像与基因治疗，这就是21世纪的影像学；无疑它将对放射诊断学提出新的挑战。

使用直线加速器的IMRT疗法研究 立体定向适形放射治疗系统(intensity modulation radiated

therapy, IMRT)是新近发展的放射治疗新技术。IMRT是目前世界上正在开发的最高技术档次的外照射技术。IMRT使每个射野的形状通过直线加速器上多叶准直器调整到与肿瘤的大小尺寸一致，通过计算机逆向调强系统使肿瘤内的剂量分布均匀一致。这样，不仅可以使放射线剂量集中于病灶区域，保护周围正常组织，而且还可以增大分次剂量，缩短治疗时间，将是21世纪肿瘤放射治疗的主流技术。

研究IMRT疗法的疗效最优化问题是这种疗法的早期研究热点。国际上很多从事放射治疗研究工作的科研机构从软件和硬件两方面开展对这一问题的研究，取得了大量的研究成果，但将IMRT疗法从一种研究工具过渡为一种常规临床治疗手段还需要更进一步的研究。所以研究和发展IMRT疗法是当今医学物理学科研究人员面临的重大挑战。其中最重要的方向，一是研究放射治疗质量保证、治疗效果验证和模拟人体治疗的问题；二是IMRT计算机逆向调强系统。此外，IMRT疗法的疗效最优化问题和放疗剂量计算方法两方面也还有很多问题值得去研究。

(联系地址：陈达院士 南京航空航天大学 1006信箱医学物理研究中心 210016)