

文章编号: 1007-4627(2007)03-0218-06

# 原子核物理在医学领域中的应用\*

张 红<sup>1</sup>, 刘 兵<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000;

2 兰州军区疾病预防控制中心, 甘肃 兰州 730020)

**摘 要:** 原子核物理的不断发展和完善极大地促进了医学及其相关学科的发展, 为医学研究与实践提供了全新的思想理论和现代化的诊疗手段与设备。综述了原子核物理在基础医学、临床医学和预防医学发展中的作用及其应用。

**关键词:** 原子核物理; 医学; 应用

**中图分类号:** O4; R1; R4; R73; Q4

**文献标识码:** A

## 1 引言

自 1895 年德国物理学家 Roentgen 发现 X 射线并应用于医学领域以来, 原子核物理理论与技术已广泛应用于医学领域。例如, X 射线成像、计算机断层成像(CT)、核磁共振成像、核医学成像和放射治疗等技术的发展和运用, 不仅极大地促进了现代医学的发展, 提高了疾病诊治水平, 而且将医学研究推向了一个新的高度。

## 2 原子核物理在基础医学研究中的应用

发病机制是疾病防治的基础, 发病机制不清楚, 就很难采取切实有效的防治措施。1960 年, Perutz 等<sup>[1]</sup>和 Kendrew 等<sup>[2]</sup>利用 X 射线衍射技术解析了肌红蛋白和血红蛋白的三维结构, 阐明了这些蛋白质在分子氧输送过程中的特殊作用, 他们也因此获得了 1962 年诺贝尔化学奖。该项工作不仅首次揭示了生物大分子内部立体结构, 还为测定生物大分子晶体结构提供了一种沿用至今的有效方法——多对同晶型置换法。近年来, 科学家应用荧光分析和核磁共振(NMR)等技术研究发现, 癌变过程中细胞及其质膜发生了明显变化, 如表面电荷改变、膜流动性增大和细胞内水状态的改变等。从射线产生自由基及其具有顺磁性和近年来对活性氧

的研究得出了许多病理过程(包括辐射损伤、衰老、毒物作用及心血管疾病中的一些环节等)都与自由基有关的结论。

自 1895 年德国外科医生 Roentgen 首次利用 X 射线观察到人体内部解剖结构以来, 随着物理学及其相关科学的发展, 以 X 射线成像、CT 成像、NMR 成像和核医学成像等为代表的许多物理学技术应用于基础医学的研究。这些研究主要包括正常和病理状态下, 人体各系统、器官和组织的解剖学、生理学特点等。目前, 各种成像技术结合计算机三维重建技术建立正常和病理状态下不同水平结构、代谢和功能成像是当前医学成像研究的重点和热点。

正电子发射计算机断层成像仪(PET)的突出优势是, 能在体外无创性探测活体内生理和病理变化过程, 并能对生化过程进行准确定量分析。这对于研究生命现象的本质和各种疾病发生、发展的机理非常有用。例如, 用短寿命的放射性核素标记人体代谢所必需的物质(如葡萄糖、蛋白质、核酸和脂肪酸等)制成显像剂(如氟代脱氧葡萄糖等), 然后将其注入人体, 我们就可以利用 PET 从体外无创、定量、动态地观察这些物质进入人体后的生理、生化变化, 从分子水平探讨代谢物或药物在正常人或

\* 收稿日期: 2007-01-12; 修改日期: 2007-02-15

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10675151); 甘肃省科技攻关计划资助项目(2GS052-A43-008-2); 甘肃省重大科技专项资助项目(2GS063-A43-012); 兰州市-中国科学院高新技术“种子资金”资助项目(06-2-58); 甘肃省自然科学基金资助项目(3ZS061-A25-021)

作者简介: 张 红(1959-), 女(汉族), 北京人, 研究员, 博士生导师, 从事生物物理、医学及其相关交叉学科研究;

E-mail: zhangh@impcas.ac.cn

病人体内的分布和生理生化功能等。PET 还能对脑的血流和代谢等活动进行判断,对研究脑的生理和精神活动等提供了一个重要手段,其绝妙之处,在于它“打开了一个揭示大脑奥秘的窗口”。因为人体不同组织的代谢状态不同,所以这些被核素标记了的物质在人体各种组织中的分布也不同。例如,在高代谢的恶性肿瘤组织中分布较多,这些特点能通过图像反映出来,从而可对病变进行诊断和分析。

NMR 成像技术以无辐射损伤、无破坏性、无试剂侵入并能从分子水平到整体脏器系统地研究活体和动态过程等这样一些突出的优点受到科学界的高度重视,发展相当迅速。在基础医学研究领域(如基因表达监测)也日益显露锋芒。

以 NMR 为基础的药物筛选技术是国际上近几年发展起来的新药筛选新方法。它可以高通量地筛选出能与靶蛋白相结合的化合物小分子。即使在初始阶段筛选出的是弱亲和的化合物,经过适当的结构改造和优化,有可能发展成为高效的药物分子的先导化合物。目前,国外很多生物制药公司和研究机构纷纷建立了相关的技术平台,利用 NMR 技术筛选、发现和设计先导化合物,已取得了许多鼓舞人心的研究成果,并获得了巨大的经济效益。

以 NMR 为基础的代谢组学主要利用 NMR 技术和模式识别方法对生物体液和组织进行系统测量和分析,对生物体中随时间改变的代谢物进行动态跟踪检测、定量和分类,分析这些代谢信息与机体病理生理特征的关系,确定发生这些变化的靶器官、作用位点和相关生物标志物。代谢组图谱不仅能同时反映代谢网络中多个生物化学途径上百上千种化合物的变化,而且可以区别不同种属、不同品系动物模型的代谢状态,鉴别与人体疾病状态的差异,寻找人类疾病、药效和毒性的适宜动物模型。“代谢指纹图谱”的研究不仅可以研究药物本身的代谢变化,而且可以研究药物引起的内源性代谢物的变化(更直接地反映体内生物化学过程和状态的变化)。通过对体液“代谢指纹图谱”变化原因的探讨阐明药物作用靶点或受体。

脑是人体内最重要的器官,是接受外界信号,产生感觉、意识和逻辑思维并发出指令的中枢。当代科学技术虽然可使人们在整体、系统、环路、细胞和分子水平等不同层次了解大脑的内部结构和生理特点等,但是至今对语言、记忆、注意、意识和

思维等脑的高级功能的确切机制知之甚少。无创伤性脑功能成像技术的发展,极大地推动了脑科学研究,使人类可以对活着的人脑的生命活动进行研究。对人脑工作机制的了解,不仅有助于探讨人类智慧的形成机理及其过程,而且有助于提高人类精神性疾病的诊疗水平。就目前来看,在各种无创性脑功能成像中,磁共振成像/谱仪(MRI/S)和 PET 比较成功。这些成像工具不但可以以人类自身作为研究对象,而且可以直接观察各种行为状态时脑内的变化,是脑科学研究和认知神经科学研究的重要手段之一。利用该技术已经可以在几毫米的空间分辨率下对大脑工作时的血流变化、血氧水平、葡萄糖的有氧和无氧代谢、磷酸化过程等大脑内发生的各种功能性或者代谢性的变化实现成像,加上对这些功能的空间定位的结构成像,已经在大脑的很多基本功能、甚至高级认知工作机制的研究方面取得了很大的进展<sup>[3-9]</sup>。

### 3 原子核物理在临床医学中的应用

#### 3.1 现代医学影像技术

现代医学影像技术包括 X 射线成像、磁共振成像(MRI)和核医学成像等。这些医学成像技术可以在无创条件下,提供机体解剖学信息,有些技术还可以提供反映机体功能的信息,从而为疾病的临床诊断和治疗提供重要依据。100 多年前 Roentgen 发现 X 射线后不久,X 射线成像就很快应用于临床医学。20 世纪 40 年代中叶,医学影像设备在世界上还只是个别医院的奢侈品。60 年后的今天,医学影像设备也已在发展中国家普及。目前,X 射线成像已成为当今医学检查的主要手段之一<sup>[10,11]</sup>,大约 70% 的人每年至少作一次 X 线检查,人一生中要做几十次 X 射线成像检查。

20 世纪 70 年代初诞生的 X 射线断层成像(X-CT)装置首先用于脑部,能迅速准确地诊断与定位脑瘤,对脑出血、脑梗塞、颅内出血、脑挫伤等疾病是一种准确可靠的无创性检查方法,几乎可以代替过去的脑血流图和血管造影等。CT 的灵敏度远远高于 X 线胶片,对脑瘤的确诊率可达 95%,对肝、胰和肾等软组织器官是否病变有特殊功用,能清楚地显示肿瘤的大小和范围,在一定程度上 X-CT 还可以区分肿瘤的性质。到目前为止,CT 成像

技术已发展成为可以对心脏实施动态显像的多层螺旋 CT 技术<sup>[12, 13]</sup>。

以单光子计算机断层成像(SPECT)和 PET 为主的核医学成像已用于临床疾病的诊断<sup>[14, 15]</sup>，如应用<sup>18</sup>F 去氧葡萄糖为药物的 PET 成像诊断肿瘤。核医学成像因其特异性好，集代谢、功能和分子成像于一体，可用于疾病的早期诊断。研究结果显示，就癌症来讲，与 X-CT 相比，SPECT 可以提前 3 个月发现肿瘤病灶，一般 PET 比 SPECT 又要早 3 个月。目前，多模式集成的成像装置，如 PET/CT，MRI，CT，电子直线加速器/CT 等也相继问世。

PET 特别适用于形态学改变之前，亦即疾病的早期(甚至超早期)。此外，PET 还能进行三维立体动态及全身显像，可发现其他检查所不能发现的问题。由于 PET 可了解肿瘤组织的代谢情况，因此可以对大多数肿瘤进行早期诊断、分期、疗效观察和预后判断，从而有利于制订不同的治疗措施。PET 还可以了解心脏功能，通过心肌的血流量、氧代谢和三大代谢等生化内容来鉴定心功能，鉴别不同心脏器质的病变。

核医学成像是目前唯一可以从分子和基因配体水平上成像的模式。应用核医学分子成像技术可通过放射性核素标记化合物分子在体内分布的可视化研究，了解体内微观分子的宏观分布及体内行为等信息，分析该化学分子在人体内的相互作用(机制)。与普通的 X 射线(1901 年诺贝尔物理学奖)或计算机断层照相术(1979 年诺贝尔生理医学奖)诊察法相比，MRI 拥有许多优点。它弥补了计算机 X 射线断层照相术(CT 扫描术)的不足，对检测组织坏死、局部缺血和各种恶性病变特别有效，并能对其进行早期诊断；对人体各循环系统的代谢过程进行监测，其成像对比度优于 CT 扫描术。MRI 技术特别适于脑和脊髓的详细成像，几乎所有的神经错乱都会导致水含量的变动，这一点能够在 MRI 成像中得到反映。水含量小于 1% 的变动足以检测到病变。脑和脊髓的局部炎症引起与多发性硬化症有关的症状，在多发性硬化症中，MRI 检查对于疾病的诊断和随访是具有优势的。使用 MRI 能够了解神经系统中炎症的部位、病变程度以及治疗后的情况。MRI 已经取代了以前使人不适的检查方法，能够分辨出肌肉疼痛与神经或脊髓受到压迫而产生的疼痛之间的区别。使用 MRI 能够了解肿瘤是否压

迫神经以及决定手术是否必要。在显微外科手术中，外科医生可以根据 MRI 成像足以在中枢脑核中安置电极，以便于治疗剧痛或者是帕金森疾病引起的运动失调。MRI 图像不仅能准确地显示肿瘤的界限，有助于更加准确的手术和放射治疗，而且也提高了确定肿瘤阶段的可能性。例如，MRI 能够确定组织中结肠癌的浸润程度以及局部的淋巴结是否已经转移。MRI 能够取代以前使用的入侵性的检查方法，因而减少了许多病人的痛苦。据卡罗林斯卡研究院公布的数字<sup>[16]</sup>，从 20 世纪 80 年代初第一台医用 MRI 仪器问世到 2002 年，全世界使用的 MRI 成像仪大约有 22 000 台，MRI 诊察案例累计达 6 000 多万人次。

## 3.2 肿瘤放射治疗

### 3.2.1 肿瘤的常规放射治疗

1896 年居里夫妇发现镭并于 3 a 后应用于肿瘤治疗，肿瘤放疗至今已有 100 多年的历史。在放疗初期，使用镭管或镭模直接贴敷肿瘤，或用镭针插入肿瘤进行组织间放疗，即近距离放疗。然而这些方法只适用于浅表肿瘤的治疗，或位于可进入的自然腔道的肿瘤，而且对体积较大肿瘤的放射剂量分布不佳，最大缺点是对医护人员的辐射量较大。20 世纪 30 年代发明了 kV X 线治疗机，50 年代发明了<sup>60</sup>Co 放疗机，放射治疗便成为一个独立的放射肿瘤学科。20 世纪 60—70 年代加速器问世，随着外照射放疗设备的出现，近距离放疗的应用逐渐减少。然而，20 世纪 80 年代起，随着计算机技术的发展，由计算机控制的近距离后装放疗机问世，使近距离放疗再次应用于临床。现代后装放疗机不仅使放射源放置的位置和剂量计算完全精确，而且完全避免了对工作人员的辐射。因而又形成了近距离放射辅助外放射治疗的最佳组合的局面。1968 年，瑞典神经外科医生 Lexell 制造了世界上第一台立体定向放射治疗装置，它是用  $\gamma$  射线作为放射源，能像手术刀一样将颅内病灶消除，因此，简称“ $\gamma$  刀”；其后各国又出现了 X 刀，开创了立体定向放射外科技术。由于放射物理学，特别是电子计算机和 CT 技术的高速发展，推动了放疗飞速发展，使 20 世纪 60 年代日本放疗学家高桥的原体治疗(适形放射治疗)得以实现，并且更进一步达到了适形调强放疗(IMRT)。这些先进技术可在最大限度保护周围正

常组织的前提下,对靶区实施高剂量均匀照射,改善肿瘤局部控制,以期提高生存率。

放射治疗是目前肿瘤治疗的 3 大手段之一<sup>[17, 18]</sup>,约 50%—70%的肿瘤患者需要不同程度(单纯放射治疗或与手术、药物配合治疗)地接受放射治疗。目前用于放疗的设备主要有电子直线加速器(使用它的电子束和 X 射线)和<sup>60</sup>Co 机。目前,电子直线加速器放疗已经从过去的常规放疗发展到影像引导放射治疗(IGRT),其中最为突出的是电子直线加速器和螺旋 CT 结合形成的断层放疗(Tomotherapy)技术。采用电子束或 X 射线通过体外照射的放疗是目前放射肿瘤治疗的主流。但放射性粒子(<sup>125</sup>I, <sup>103</sup>Pd)植入某些肿瘤进行治疗,可使肿瘤局部控制率高,并发症发生率低,提高了肿瘤患者的生存率,也是一种较为有效的肿瘤治疗手段<sup>[19]</sup>。

### 3.2.2 质子和重离子治疗肿瘤

与常规射线相比,质子和重离子因其具有在物质中确定的“射程”及其射程末端处出现 Bragg 峰的特点<sup>[20]</sup>,在肿瘤治疗时,可通过调节能量调整 Bragg 峰的位置和采用磁扫描技术导引束流对肿瘤病灶实施精确治疗。Wilson<sup>[21]</sup>于 1946 年首次提出质子束医学应用观点。1954 年,美国加州大学 Lawrence Berkeley 实验室(LBL)在世界上首次用质子对晚期乳腺癌病人实施治疗<sup>[22]</sup>。之后,瑞典、美国和俄罗斯等国的一些机构开展了质子治疗肿瘤的临床研究。目前质子的主要治疗范围已经从最初的黑色素瘤、颅内肿瘤扩展到前列腺癌、肺癌、肝癌以及脑血管畸形等非肿瘤疾病,并且在 2000 年 8 月通过了美国国家食品药品监督管理局(FDA)的认证。据报道,到 2001 年底,全世界接受质子治疗的病人达 29 852 人<sup>[23]</sup>。目前,全世界现有质子治疗中心 33 家,分布在 16 个国家,主要集中在美国、英国、日本和加拿大等发达国家,到目前已累计治疗了 4 万多患者,仅欧美和日本就已治疗 2 万多个病例,一般治疗效果达到 95%以上,5 年存活率高达 80%。

与质子相比,重离子生物学优势更加明显,剂量分布优势(Bragg 峰)更为突出,其治疗精度高(mm 量级)、剂量相对集中、治疗时间短、疗效显著、对周围健康组织损伤小和便于实时监测等被誉为面向未来最理想的放射治疗用射线。世界上许多国家都投入大量的人力、物力和财力建造重离子束

治疗装置,开展治癌基础及临床应用研究。1975 年,美国的 LBL 首次利用其高能同步重离子加速器 BEVALAC 开展肿瘤治疗临床试验,到 1992 年 6 月累计治疗各种肿瘤患者 2 487 人<sup>[24]</sup>。近年来,日本和德国重离子束治疗肿瘤临床试验成果又唤起了美国对重离子束治癌研究的兴趣。1984 年,日本政府启动“癌症控制 10 年战略”,于 1993 年在国立放射医学综合研究所(NIRS)建成一台专门用于肿瘤治疗和放射医学研究的医用重离子加速器(HIMAC),1994 年 6 月 21 日对第一批肿瘤病人实施了碳离子束治疗<sup>[25]</sup>,到 2006 年 11 月已累计治疗各种肿瘤患者 3 200 例。2000 年,日本又在兵库(Hyogo)建成一台专门用于肿瘤治疗的带电粒子治癌装置(PATRO),该装置已于 2002 年投入临床使用。2003 年,日本政府在认可重离子治癌成果的同时正式启动第二个“癌症控制 10 年战略”,计划在日本兴建 50 个重离子束治疗中心<sup>[24]</sup>。德国在借鉴美国和日本经验的基础上,开发和应用了先进的栅网扫描束流配送系统和 PET 治疗质量保证两大技术手段,于 1996 年在德国重离子研究中心(GSI)建成重离子治疗装置,可以对病人的治疗实施在线监控。因对两种脑瘤的良好治疗,GSI 因此得到德国政府有关部门颁发的临床治疗许可证。目前,德国政府批准并投资 7 245 万欧元,由 GSI 联合德国癌症研究中心(DKFZ)在海得堡建造专门用于肿瘤治疗的离子束加速器<sup>[24]</sup>。除德国外,欧洲许多国家都纷纷提出或启动重离子治癌项目。在我国,中国科学院近代物理研究所对重离子治癌的物理学和生物医学基础等开展了研究,为临床治疗肿瘤积累了基础数据<sup>[24, 26—34]</sup>。目前,该所研制的基于 HIRFL 的重离子浅层治癌装置已通过专家鉴定<sup>[35]</sup>。随着兰州重离子加速器冷却储存环(HIRFL-CSR)的建成出束和增建治癌终端的完成,必将使我国重离子束治癌跻身国际先进行列。

### 3.3 原子核物理在疾病预防中的应用

目前,加速器及同位素辐射源已广泛应用于食品保藏、医药消毒和环境污染处理等。

## 4 小结

总之,原子核物理的迅速发展及其在医学领域的应用不仅使医学研究的理论、方法和技术有了突

破性进展,而且为生物医学的研究提供了现代化的检测分析和诊疗手段与设备。目前,原子核物理和医学不仅联系更加紧密,而且相互渗透和相互交融更加广泛。原子核物理和医学及其相关学科的相互交融与渗透,必将进一步促进物理学与医学的发展。

### 参考文献 (References):

- [1] Perutz M F, Rossmann M G, Cullis A F, *et al.* Nature, 1960, **185**: 416.
- [2] Kendrew J C, Dickerson R E, Strandberg B E, *et al.* Nature, 1960, **185**: 422.
- [3] Wu Yigeng, Shan Baoci, Zeng Haining, *et al.* Progress in Natural Science, 2002, **2**: 197(in Chinese).  
(吴义根, 单保慈, 曾海宁等. 自然科学进展, 2002, **2**: 197.)
- [4] Hu Zhenghui, Wu Yigeng, Chen Feiyan, *et al.* Acta Psychologica Sinica, 2002, **34**(Suppl): 94(in Chinese).  
(胡正晖, 吴义根, 陈飞燕等. 心理学报, 2002, **34**(增刊): 94.)
- [5] Hu Z H, Wu Y G, Wang X C, *et al.* Progr In Natural SCI, 2005, **15**(6): 502.
- [6] Hu Z H, Wang X C, Li L Y, *et al.* Acta Biochimica et Biophysica Sinica, 2004, **36**(12): 803.
- [7] Wang X C, Hu Z H, Fang Z Y, *et al.* Neurobiology of Aging, 2004, **25**(Suppl): 375.
- [8] Cao B L. Int J Psycho, 2004, **39**(5-6): 525.
- [9] Cao B L, Zhao X H, Yang Z Y, *et al.* Int J Psycho, 2004, **54**(1-2): 159.
- [10] Bao Shanglian. Modern Medical Image Physics. Beijing: Beijing Medical University Press, 2004, 38 (in Chinese).  
(包尚联编著. 现代医学影像物理学. 北京: 北京大学医学出版社, 2004, 38.)
- [11] Bao Shanglian. Chinese Journal of Medical Physics, 2003, **20**(3): 129(in Chinese).  
(包尚联. 中国医学物理学杂志, 2003, **20**(3): 129.)
- [12] Han Jinsheng, Song Xiaodu. Heilongjiang Medicine, 2004, **28**(7): 252(in Chinese).  
(韩金生, 宋晓毒. 黑龙江医学, 2004, **28**(7): 252.)
- [13] Liu Xiujuan, Wei Qingtang. Heilongjiang Medicine, 2004, **28**(12): 898(in Chinese).  
(刘秀娟, 魏庆堂. 黑龙江医学, 2004, **28**(12): 898.)
- [14] Liu Fangyin, Wang Quanshi. Foreign Medical Sciences: Section of Radiation Medicine and Nuclear Medicine, 2002, **26**(3): 114(in Chinese).  
(刘方颖, 王全师. 国外医学·放射医学核医学分册, 2002, **26**(3): 114.)
- [15] Liu Pingan. Foreign Medical Sciences: Section of Radiation Medicine and Nuclear Medicine, 2002, **26**(1): 12 (in Chinese).  
(刘平安. 国外医学·放射医学核医学分册, 2002, **26**(1): 12.)
- [16] Magnetic Resonance Imaging, the Nobel Prize in Physiology or Medicine 2003 Press Release. Oct 6, 2003.
- [17] Hu Yimin. Tumor Radiotherapy Physics. Beijing: Atomic Energy Press, 1999, 1 333(in Chinese).  
(胡逸民编著. 肿瘤放疗物理学. 北京: 原子能出版社, 1999, 1 333.)
- [18] Hu Yimin. Chinese Journal of Medical Physics, 2002, **19**(4): 194(in Chinese).  
(胡逸民. 中国医学物理学杂志, 2002, **19**(4): 194.)
- [19] Wang Jungjie, Tang Jintian, Li Gong. Beijing: Beijing Medical University Press, 2001, 66-97(in Chinese).  
(王俊杰, 唐劲天, 黎 功. 北京: 北京医科大学出版社, 2001, 66-97.)
- [20] Raju M R. Radiat Res, 1996, **145**: 391.
- [21] Wilson R R. Radiology, 1946, **47**: 487.
- [22] Tobias C A, Robert J E, Lawrence J H, *et al.* Peaceful Uses at Energy, 1956, **10**: 95.
- [23] Sisterson J (ed.). Particles, Newsletter, No. 27, January 2001.
- [24] Li Wenjian. Nuclear Physics Review, 2005, **22**(1): 39 (in Chinese).  
(李文建. 原子核物理评论, 2005, **22**(1): 39.)
- [25] Tsujii H. Book of Abstracts of 5th Workshop on Heavy Charged Particles in Biology and Medicine. Darmstadt: GSI, 1995, 167.
- [26] Li Wenjian, Zhou Guangming, Wang Jufang, *et al.* Nuclear Physics Review, 2003, **20**(1): 42(in Chinese).  
(李文建, 周光明, 王菊芳等. 原子核物理评论, 2003, **20**(1): 42.)
- [27] Zhou Guangming, Li Wenjian, Gao Qingxiang, *et al.* Nuclear Physics Review, 2003, **20**(1): 52(in Chinese).  
(周光明, 李文建, 高清祥等. 原子核物理评论, 2003, **20**(1): 52.)
- [28] Liu B, Zhang H, Zhou G M, *et al.* J Turkish-German Gyneco Asso, 2006, **7**(4): 297.
- [29] Wang Yanling, Zhang Hong, Duan Xin, *et al.* J Radfiat Res Radiat Process, 2006, **24**(5): 313(in Chinese).  
(王燕玲, 张 红, 段 昕等. 辐射研究与辐射工艺学报, 2006, **24**(5): 313.)
- [30] Min F L, Zhang H, Li W, *et al.* In Vitro Cell Dev Biol-Animal, 2005, **141**: 284.
- [31] Li Qiang, Wei Zengquan, Li Wenjian, *et al.* Nuclear Physics Review, 2001, **18**(2): 109(in Chinese).  
(李 强, 卫增泉, 李文建等. 原子核物理评论, 2001, **18**(2):

- 109.)
- [32] Song Mingtao, Zhan Wenlong, Wei Baowen, *et al.* Nuclear Physics Review, 2001, **18**(2): 116(in Chinese).  
(宋明涛, 詹文龙, 魏宝文等. 原子核物理评论, 2001, **18**(2): 116.)
- [33] Zhu Kun, Zhang Jinqian, Tang Jingyu, *et al.* Nuclear Physics Review, 2003, **20**(3): 197(in Chinese).  
(朱 昆, 张金泉, 唐靖宇等. 原子核物理评论, 2003, **20**(3): 197.)
- [34] Min Fengling, Zhang Hong. Nuclear Physics Review, 2005, **22**(2): 219(in Chinese).  
(闵凤玲, 张 红. 原子核物理评论, 2005, **22**(2): 219.)
- [35] Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2006, **1**: 38 (in Chinese).  
(中国医学影像技术, 2006, **1**: 38.)

## Application of Nuclear Physics in Medicine<sup>\*</sup>

ZHANG Hong<sup>1, 1)</sup>, LIU Bing<sup>1, 2</sup>

(1 *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*

2 *Lanzhou Command Center for Disease Prevention & Control, Lanzhou 730020, China*)

**Abstract:** The advancements and achieves in nuclear physics enormously improve the developments of medicine and its correlation disciplines, provide the brand-new theory, the modern diagnoses, the treat methods and instruments for the medical research and practice. In this review the applications of nuclear physics in basic, clinical and preventive medicines are summarized.

**Key words:** nuclear physics; medicine; application

\* **Received date:** 2 Jan. 2007; **Revised date:** 15 Feb. 2007

\* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China(10675151); Scientific Technology Research Project of Gansu Province (2GS052-A43-008-02, 2GS063-A43-012); Scientific Technology Research Project of Lanzhou-Chinese Academy of Sciences(06-2-58); Natural Science Foundation of Gansu Province(3ZS061-A25-021)

1) E-mail: Zhangh@impcas.ac.cn