

文章编号: 1007-4627(2008)04-0402-07

# C离子束放射治疗肿瘤的进展\*

魏世华<sup>1</sup>, 刘倩<sup>2</sup>

(1 兰州军区兰州总医院放射治疗中心, 甘肃 兰州 730050;

2 中国医学科学院&北京协和医学院药物研究所, 北京 100050)

**摘要:** 重离子(C离子)用于肿瘤放射治疗具有物理学和生物学两方面的优势, 被誉为面向21世纪最佳放疗用射线。综合论述了世界各国重离子束治癌的发展历史, 在日本国立放射医学综合研究所(NIRS)提供的临床试验数据基础上分析了C离子束治疗的适应症以及对正常组织的放射损伤。此外, 通过分析潜在患者人数和治疗相关硬件与软件设备, 对C离子束治癌的运用前景做了初步评估。

**关键词:** 肿瘤; 放射治疗; C离子; 重离子; 高LET

**中图分类号:** R730.55

**文献标识码:** A

## 1 引言

应用低LET(linear energy transfer)常规射线的放射治疗使部分早期局限性肿瘤获得根治, 中晚期肿瘤被控制, 从而减轻患者痛苦、改善患者生活质量和延长生命, 且放疗对肿瘤部位的器官和功能保留具有重要意义<sup>[1]</sup>。然而, 常规射线的放疗中存在某些难以克服的不足, 如射线在人体组织中的剂量分布不理想, 在杀死肿瘤细胞的同时使周围正常组织也受到较大损伤, 造成明显毒副作用及并发症。为避免肿瘤周围的正常组织(特别是对射线敏感的重要组织和器官)受到不必要的损伤, 必须降低总剂量, 以致肿瘤得不到足够的照射剂量, 从而降低肿瘤的治愈率。

近年来的研究表明, 加速器提供的高能C离子束属于高LET射线, 具有物理学和生物学效应两方面的优点<sup>[2-4]</sup>。在物理学方面, 重离子束在通过介质时, 损失其能量, 并在射程末端释放大部分能量形成明显的电离吸收峰(Bragg峰), 峰的位置及宽度均可通过射程调制器调节, 以适应大小不同的病灶, 重离子束在体内到达的位置及剂量也可通过PET技术进行体外探测确定; 在生物学方面, 重离子束具有较高的生物学效应(Relative Biological

Effectiveness, 简称RBE), 对肿瘤乏氧细胞的杀伤力要比低LET射线的大, 对细胞生长周期依赖较小<sup>[4]</sup>。在肿瘤治疗方面, 这些特征使得重离子束(特别是C离子)提供了比传统射线更为优越的条件<sup>[5]</sup>。尤其在临床上用于难治性肿瘤的研究更为放射治疗专家们所感兴趣。

## 2 C离子束治疗的发展历史

1957年, 美国劳伦斯伯克利实验室(LBL)首先在同步回旋加速器(Bevalac)上用He离子进行肿瘤患者的治疗, 1974年又在Bevalac加速器上对肿瘤患者进行了Ne离子治疗<sup>[6]</sup>。LBL在重离子治疗方面做了大量有价值的工作, 是公认的重离子治癌先行者。但是由于: (1) 在治疗中发现, Ne离子对肿瘤周围正常细胞有较大损伤, 从而引起严重的晚期反应(Late Effect); (2) 在进行He离子治疗时, 过分强调重离子剂量分布的优越性, 导致在患者病灶定位还不精确的条件下, 一些难治性肿瘤的治疗效果并不理想。由于新的高能重离子加速器RHIC的建成, Bevalac加速器于1992年关闭, 从而美国停止了重离子治癌研究。但LBL用He和Ne离子治疗唾液腺癌、鼻窦癌、骨和软组织癌、前列腺癌等难治性

\* 收稿日期: 2008-01-16; 修改日期: 2008-08-04

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10675151); 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2006AA02Z499)

作者简介: 魏世华(1953-), 女(汉族), 辽宁台安人, 副主任医师, 从事肿瘤放射治疗临床研究;

E-mail: doctor.weishihua@gmail.com

肿瘤具有不少喜人的疗效,但对脑部肿瘤、胰腺癌、食道癌、肺癌等的治疗未见有效。这些基础及临床治疗试验的研究成果,为以后C离子治疗的发展奠定了基础。

1993年日本政府提供大量资金,在国立放射医学综合研究所(NIRS)建成了专用于重离子治疗临床试验研究的重离子加速器HIMAC<sup>[7]</sup>。NIRS从1994年6月到2006年8月已治疗肿瘤患者2 867例<sup>[8]</sup>(截至2007年8月NIRS已治疗3 452例,待发表),在临床试验研究中取得了极大的成功。日本政府于2003年11月评价和确定了C离子束为先进的肿瘤治疗离子之一,正式启动第2个“癌症控制10年战略”。计划在全日本兴建60个重离子束治疗中心,使日本国民受益于C离子束治疗。目前,NIRS已开始设计小型的医用加速器及治疗设备,用于将来的重离子治疗。2006年4月日本的第一台小型化重离子治癌装置已经开始在群馬大学医学院开始建设,预计2009年开始临床治疗<sup>[9]</sup>。

在欧洲,德国重离子研究中心(GSI)从1997年进行C离子束治疗工作后,到2004年3月,共收治头颈部肿瘤患者205例,总体疗效非常显著<sup>[10]</sup>。2002年,GSI对颅底脊索瘤和软骨肉瘤两种难治性肿瘤(各50例)临床试验的两年局部控制率都达到了100%,因此德国政府对这两种肿瘤的重离子临床治疗颁发了许可证。到2004年,GSI C离子束对颅底瘤治疗显示的临床结果为,4年局控率大于67%,总存活率大于76%,且没有明显的晚期毒副作用,治疗效果令人鼓舞。2005年启动针对高危前列腺癌治疗的临床试验。到目前为止,GSI对易于固定的头颈部肿瘤的治疗取得了巨大的成功,计

划开展易受呼吸运动影响的胸腹部肿瘤的临床试验。除德国Heidelberg正在建造的C离子束治疗中心外,欧洲还计划再建造几个C离子束治疗中心<sup>[11, 12]</sup>。

在我国,中国科学院近代物理研究所(IMP)利用兰州重离子研究装置(HIRFL)提供的中能C离子束,在其应用于治癌的物理学和生物学特性的前期研究基础上<sup>[13-18]</sup>,于2006年11月成功地进行C离子束治疗浅表恶性肿瘤的临床治疗试验研究,使我国成为世界上第4个实现重离子治癌的国家<sup>[19]</sup>。到目前,已经治疗浅表肿瘤患者66例<sup>[20]</sup>。

在治疗技术方面,德国和日本有以下差异:(1)德国主要治疗头颈部和中枢神经系统的肿瘤,日本则治疗全身各部位的肿瘤;(2)德国采用主动式栅扫描束流配送系统的适形调强技术,日本则采用体表补偿配合多叶准直器的被动式适形技术;(3)德国大部分病人用光子+C离子混合照射,C离子用于后期局部加量,C离子剂量为18 GyE(Gy等效剂量),日本则全程用C离子照射,总剂量为50—70 GyE<sup>[7]</sup>。

## 2.1 C离子束治疗的适应症

根据日本的报道,从1994年6月到2006年8月总共用C离子束治疗2 867例(各类肿瘤分类和数目见图1和图2)恶性肿瘤患者<sup>[8]</sup>(截止2007年8月NIRS已治疗3 452例,待发表)。所有被放治疗的患者都选自常规放疗、质子放疗和手术等方法难以治疗的癌症,如对射线抗拒的、严重晚期并发症的、放射损伤大的、局部控制率低的、生存率低的癌症。在用C离子束治疗时,为了使癌症局部得到最大的控

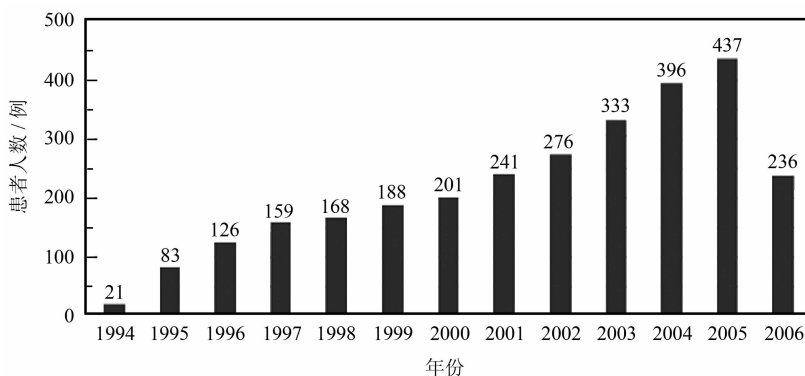


图1 NIRS C离子放射治疗登记的患者数目(1994.6—2006.8)<sup>[8]</sup>

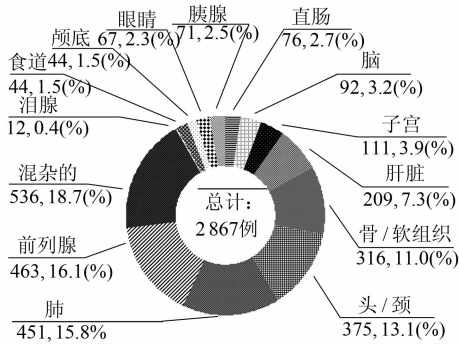


图2 NIRS C离子治疗登记的患者类型(1994.6—2006.8)<sup>[8]</sup>

制, 将周围正常细胞的副作用损伤和早期及晚效应降至最低程度, 采用最佳的总剂量和照射次数, 进行下述几种肿瘤的治疗: (1) 头颈部非鳞状细胞癌, 如恶性黑色素瘤、腺癌; (2) 早期和晚期局部的非小细胞肺癌; (3) 不能手术切除的严重骨和软组织恶性肿瘤; (4) 晚期肝癌、局限前列腺癌; (5) 神经胶质瘤、子宫颈癌、胰腺癌、胆囊癌等。

对上述几种肿瘤的治疗都取得了很好的治疗效果, 治疗结果如表1所示。

表1 NIRS C离子放射治疗的临床结果<sup>[8]</sup> (1994.6—2006.2)\*

试验设计	阶段	肿瘤分类	C离子放射治疗 (GyE/f/d)	患者 数目	3年局控 率(%)	3年存活 率(%)	5年存活 率(%)	5年bNED 存活率(%)
头/颈-1+2	I/II	局部晚期	49—70/16—18/28—42	34	81	48	37	
头/颈-3(9 602)	II	局部晚期	57.6/16/28	224	77	57	43	
		—腺样囊性癌		64	82	76	68	
		—腺癌		26	72	64	64	
		—恶性黑色素瘤		80	88	49	30	
		—其他		54	55	46	27	
头/颈-4	I/II	肉瘤	70.4/16/28	16	100	56	56 <sup>a</sup>	
头/颈-5	II	恶性黑色素瘤	57.6/16/28	57	82	42	35 <sup>a</sup>	
		—C离子+化疗		48	92	45	45 <sup>a</sup>	
颅底 颈椎棘突	I/II	颅底/颈椎棘突	48.0—60.8/16/28	40	93	94	87	
		—脊索瘤		25	88	100	86	
肺-1(9 303)	I/II	I级(外周型)	59.4—95.4/18/42	47	65		42(61) <sup>b</sup>	
肺-2(9 701)	I/II	I级(外周型)	72.0—79.2/9/21	34	91		41(60) <sup>b</sup>	
肺-3(9 802)	II	I级(外周型)	72.0/9/21	50	95		50(76) <sup>b</sup>	
肺-4(0 001)	I/II	I级(外周型)	52.8—60.0/4/7	79	90		41(62) <sup>b</sup>	
		I级(外周型)	4和9次	129	93		44(71) <sup>b</sup>	
		—IA (≤3cm)		71	99		56(88) <sup>b</sup>	
		—IB (>3cm)		58	85		30(48) <sup>b</sup>	
肺-5(0 201) <sup>c</sup>	I/II	I级(外周型)	28—44(单照射)	116				
肺-6(9 801)	I/II	I级(中心型)	57.6—61.2/9/21	23	91		21(39)	
肺-7(9 903)	I/II	局部晚期	68—76/16/28	37	88		38(55)	
肝-1	I/II	T2—T4 MONO	49.5—79.5/15/35	24	81	50	25 <sup>d</sup>	
肝-2	I/II	T2—T4 MONO	48—70/4—12/7—21	82	87	48	26	
肝-3	II	T2—T4 MONO	52.8%/4/7	44	95	58	35	
		所有病例治疗4f	52.8%/4/7	61	94	57	33	
肝-2+3	所有	—伴有局部肿瘤 <sup>d</sup>	52.8%/4/7	21		71	67	
			/2/2	40				
前列腺-1	I/II	B2—C	54—72/20/35	35	97	94	89	91
前列腺-2	I/II	A2—C	60—66/20/35	61	100	97	90	78
前列腺-3	II	T1C—C	66/20/35	333	99	94	91	87
前列腺-2+3	所有	A2—C	66/20/35	374	99	95	92	88
		—低危险性		68	98	98	93	87

		-高危险性		306	100	94	91	89
		-PSA≤20		216	99	96	91	89
		-PSA>20		158	100	94	92	88
子宫颈-1	I/II	III—IVa(Sq Cell Ca)	53—72/24/42	30	49	40	37	
子宫颈-2+3	I/II	III—IVa(Sq Cell Ca)	64—72/20—24/35	36	69	52	43	
		-III级			72	57	45	
		-Iva级			63	38	38	
					74	70	53	
子宫(腺癌)	I/II	II—Iva(腺癌)	62.4—71.2/20/35	39	74	70	53	
骨/软组织-1 <sup>e</sup>	I/II	不能切除的	53—74/16/28	57	63	47	36	
软组织-2 <sup>e</sup>	II	不能切除的	70.4/16/28	190	82	67	54	
骨/软组织-1+2 <sup>e</sup>	-	骨肉瘤	70.4/16/28	48	69	51	34	
		脊索瘤	70.4/16/28	69	98	91	80	
直肠-1	I/II	骨盆复发	67.2—73.6/16/28	65	82	65	55	
胰腺：								
术前C离子-1	I/II	切除所有	44.8—48.0/16/28	22		23.8(36.3) <sup>f</sup>		
术前C离子-2	I/II	切除所有	30.0—33.2/8/14	11		18.0(40.0) <sup>f</sup>		
照射中C离子	I/II	不能切除所有	38.4—48.0/12/21	31		44.0 <sup>g</sup>		

\* a 4年存活率；b ( ) 中的数据表示特定原因的存活率；c 正在进行的剂量递增试验；d 患者具有良好的肝功：单个，3—5 cm；e 入选原则包括骨盆和脊柱旁的肿瘤骨；f 2年存活率，( ) 中的为切除组织的数据；g 1年存活率。

## 2.2 C 离子束治疗对正常组织的放射损伤

在C离子束治疗时，对正常组织的损伤是用下列两项判断的：(1)急性辐射损伤发病率评分准则(Acute Radiation Morbidity Scoring Criteria)，

在90 d内，按皮肤损害严重程度分为6级(0—5)；(2)晚期辐射损伤发病率评分准则(Late Radiation Morbidity Scoring Criteria)，在90 d以后视并发症严重程度分为6级(0—5)。以NIRS为例，进行C离子束照射时对正常组织的放射损伤发病率见表2。

表2 NIRS C离子束照射时对正常组织的放射损伤<sup>[7]</sup> (1994. 6—2003. 8)

部位	急性反应(<90 d)							迟发反应(>90 d)						
	无	0	1	2	3	4	5	无	0	1	2	3	4	5
皮肤(%)	1 620	371	944	266	39	0	0	1 562	613	885	48	13	3	0
	100	23	58	16	2	0	0	100	39	57	3	1	0.2	0
口腔粘膜	276	48	115	85	28	0	0	271	219	45	7	0	0	0
肺	411	383	14	11	3	0	0	382	123	244	15	0	0	0
食道	253	215	29	7	2	0	0	240	226	2	10	2	0	0
直肠、乙状结肠	564	510	45	9	0	0	0	554	468	57	14	6	9	0
尿道	382	298	80	4	0	0	0	378	239	110	22	7	0	0

所有产生严重皮肤损伤反应的患者大部分是因为病灶浸润或靠近皮肤所引起。皮肤反应的严重程度与剂量有关，大多数发生在高剂量照射情况下。

由上可见，在NIRS C离子束治疗时不论早期或晚期损伤都不十分严重，但对于更长时间的晚期反应，由于观察时间不足而没有数据。

### 2.3 C离子束治疗的其他方面

**照射次数** 在对肺癌和肝癌进行治疗时,将照射次数缩短到2—8 f和7—21 d,已取得良好疗效。其原因是当每次用较高剂量照射时,在肿瘤的RBE要高于正常组织的RBE<sup>[21]</sup>。

**能否取代质子治疗** 虽然质子也具有良好深度剂量分布的优点,但重离子不仅具有比质子更好的深度剂量分布,而且还具有更大的LET和RBE,临床上重离子治癌可望取得更好的结果。由于质子和重离子的治疗范围都局限于部分癌症,并且治疗的数据有限,临床结果还有待于进一步观察。虽然重离子可以治疗不少质子难以治疗的抗阻性肿瘤,但若从成本考虑,则质子治疗更为合适<sup>[22]</sup>。

### 2.4 C离子束治疗的优点和局限性

**C离子的优点** 具有优良的物理特性,倒转的深度剂量分布、LET大、侧向散射小、Bragg峰可随需要调整宽度、后沿陡、C离子束在贯穿组织间产生的核碎片能用PET技术进行束流在体内位置及剂量的在线实时监测。具有良好的生物学特性,RBE大,在肿瘤细胞内造成更多的DNA双键断裂形成团簇损伤,从而对放射抗拒的肿瘤进行有效治疗<sup>[23]</sup>。

**C离子的缺点** 核碎片在肿瘤靶区后面形成的末端剂量尾巴对治疗的影响以及如何在治疗计划系统(TPS)中对此进行估算等方面还有待于进一步的研究。特别是重离子治疗对正常组织所产生的晚期效应,至今不同学者有不同的说法和评估。日本NIRS和Hyogo的学者就有不同的评估,前者认为不严重,后者认为很严重,提出要采用C离子和质子复合治疗方法<sup>[24]</sup>。德国GSI也提出用C离子和X射线的预增强方法。总之,对后期效应没有统一的结论。

**C离子束治疗的不成熟性** 上述的核碎裂现象和远期效应还没有统一的想法和足够充分的临床试验数据。另外,RBE是肿瘤类型、肿瘤部位、肿瘤所处的生长周期以及LET值的函数。但目前TPS中只是用一种细胞中所测出的RBE值,并将一个固定RBE值用在其他不同的细胞上,不够精确,仅是近似估算。至今为止,除去LBL以外,只有日本NIRS、德国GSI和我国IMP在应用C离子束治癌,并且都是临床治疗试验研究阶段,临床资料尚不充

分。

## 3 C离子束治疗适应患者的数量估计

在欧洲,在每2万/1 000万人口中需用放射治疗的肿瘤患者约有20%,即4 000例患者的癌症是放射抗拒的,而其中有1/3—1/4是适用于C离子束治疗,即每年有1 000名适用C离子束治疗的癌症患者。据日本报道,1991年死于癌症的有223 604例,1998年有283 827例,2000年以后每年新增加癌症患者近500 000例。因此日本政府把诊治癌症作为主要的一个国策<sup>[25]</sup>。

据中国非正式统计,预计每年新增癌症患者为240万例,若其中有50%需用放射治疗,即有120万例,若其中有20%是放射抗拒的,即24万例,其中又有1/3—1/4是适用于C离子束治疗,则每年有6万癌症患者适用C离子束治疗。若以保守估计,其中30%能进行重离子治疗,则也有2万例之多。

## 4 治疗装备和价格

除属于重离子物理研究所的重离子治疗中心,如德国GSI和我国IMP外,其它重离子治疗中心,如已建成的日本HIMAC和兵庫离子束医学中心(HIBMC)、正在建造和计划建造的德国Heidelberg、瑞士PSI-PROSCAN、意大利的Roma-TOP、LIBO、CNAO、奥地利的MeD-AUSTRON和瑞典的Karolinska等重离子治疗中心都采用同步加速器来产生重离子。随着技术的进步,同步加速器的周长做得越来越小,如日本的HIMAC同步加速器周长约130 m(1994年),兵庫为93.6 m(2001年),德国Heidelberg的同步加速器周长64 m(2006年),日本NIRS正在研制周长仅50 m左右的新一代重离子同步加速器(2010年),基本上都采用由ECR离子源和RFQ直线加速器和Alvarez直线加速器所组成的注入器。由于同步加速器可以调节束流能量,所以不再需要能量选择器,束流运输系统要求更高磁场强度的磁铁,结构和质子相类似。

由于C离子的磁刚度远大于质子的,因此不易做旋转机架。日本HIMAC和HIBMC都没有旋转机架,而用水平、垂直、45° 3个固定治疗头来代替。德国Heidelberg将配置了重离子旋转机架。关于束

流配送系统,目前使用的有两种:一种是日本HIMAC使用的散射加摆动磁铁的被动型束流配送系统,另一种是德国GSI采用的主动型栅扫描束流配送系统。前者配合以射程调制器和多叶准直器用于适形治疗,后者可用于适形及调强治疗。栅扫描系统对加速器提供束流的性能,如位置、分布范围和大小有很高要求,因而是一种更为先进的束流配送系统。

在重离子治疗时,治疗计划系统必须考虑生物学效应,因此要比质子复杂得多。重离子治疗设备占地面积要比质子的大一些。其设备总价格要比质子的多2.5—3倍左右,若全套引进包括基建总价约近1亿美元(若由欧洲订购装备,自行安装调试,可便宜得多),投资回收时间也要比质子的长。目前全世界只有日本三菱和德国西门子有成套商品出售。

## 5 结束语

重离子束与物质相互作用的特殊机理使得它在治疗肿瘤方面具有一系列明显的优点<sup>[16]</sup>:治疗精度高(mm量级);剂量相对集中、侧向散射小、照射治疗时间短和疗效好;对肿瘤周围正常组织损伤小;特别是其还能做到实时监测,便于控制照射位置和剂量。重离子束的治疗作用可以与手术刀相媲美,达到常规辐射治疗难以实现的疗效,因而重离子束被称为是面向21世纪最理想的放射治疗射线,在一些难治性肿瘤的治疗方面将会发挥巨大的作用。中国科学院近代物理研究所与兰州军区兰州总医院等单位联合应用重离子束临床实验的成功填补了我国这项工作的空白<sup>[19, 26]</sup>。在治疗纤维肉瘤、恶性黑色素瘤高分化鳞癌等浅层恶性肿瘤中已取得很好的临床疗效<sup>[27]</sup>。

## 参考文献(References):

- [1] Schulz-Ertner D, Tsujii H. *J Clin Oncol*, 2007, **25**(8): 953.
- [2] Chen G T, Castro J R, Quivey J M. *Annu Rev Biophys Bioeng*, 1981, **10**: 499.
- [3] Jakel O, Schulz-Ertner D, Karger C P, *et al.* *Technol Cancer Res Treat*, 2003, **2**(5): 377.
- [4] Wéyrather W K, Kraft G. *Radiother Oncol*, 2004, **73**(Suppl 2): S161.
- [5] Schulz-Ertner D, Jäkel O, Schlegel W. *Semin Radiat Oncol*, 2006, **16**(4): 249.
- [6] Castro J R. *Radiat Med*, 1983, **1**(1): 70.
- [7] Tsujii H, Mizoe J E, Kamada T, *et al.* *Radiother Oncol*, 2004, **73**(Suppl 2): S41.
- [8] Tsujii H, Mizoe J, Kamada T, *et al.* *J Radiat Res (Tokyo)*, 2007, **48**(Suppl A): A1.
- [9] Noda K, Furukawa T, Fujisawa T, *et al.* *J Radiat Res (Tokyo)*, 2007, **48**(Suppl A): A43.
- [10] Jakel O, Kramer M, Schulz-Ertner D, *et al.* *Radiother Oncol*, 2004, **73**(Suppl 2): S86.
- [11] Haberer T, Debus J, Eickhoff H, *et al.* *Radiother Oncol*, 2004, **73**(Suppl 2): S186.
- [12] Kraft G. *Tumori*, 1998, **84**(2): 200.
- [13] Li Qiang, Furusawa, Kanazawa M, *et al.* *Nucl Instr and Meth*, 2006, **B245**: 302.
- [14] Li Qiang. *A Dvances in Space Research*, 2007, **40**: 455.
- [15] Li Q, Dai Z, Yan Z, *et al.* *Med Biol Eng Comput*, 2007, **45**(11): 1 037.
- [16] Zhang Hong, Duan Xin, Yuan Zhigang, *et al.* *Mutat Res*, 2006, **595**: 37.
- [17] Zhang Hong, Liu Bing, Zhou Qingming, *et al.* *Int J Androl*, 2006, **29**: 592.
- [18] Zhang H, Zhang X, Yuan Z, *et al.* *J Radiat Res*, 2006, **47**(2): 131.
- [19] Ma Lin, Zhou Guixia, Fen Linchun. *Malignant Tumor High LET (Heavy Ion. Fast Neutron) Radiation Therapy*. Beijing: Military Medicine Press, 2007, 130, 131(in Chinese). (马林,周桂霞,冯林春.恶性肿瘤高LET(重离子.快中子)放射治疗学.北京:军事医学出版社,2007,130,131.)
- [20] Ding X, Chen L H. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2006, **10**: 536(in Chinese). (丁小凡,陈龙华.中华放射医学与防护杂志,2006, **10**: 536.)
- [21] Wang Dezhi. *Heilongjiang Medicine Journal*, 2004, **6**: 433 (in Chinese). (王德智.黑龙江医学,2004, **6**: 433.)
- [22] Krämer M, Scholz M. *Phys Med Biol*, 2000, **45**(11): 3 319.
- [23] Mazon J J, Noel G, Feuvret L, *et al.* *Radiother Oncol*, 2004, **73**(Suppl 2): S50.
- [24] Li Liang, Cai Yingquan, Wang Qian, *et al.* *Journal of Modern Oncology*, 2006, **4**: 498(in Chinese). (李量,蔡英全,王倩等.现代肿瘤医学,2006, **4**: 498.)
- [25] Koike S, Ando K, Uzawa A, *et al.* *Radiat Prot Dosimetry*, 2002, **99**(1—4): 405.
- [26] Xiao Guoqing, Zhang Hong, Li Qiang, *et al.* *Nuclear Physics Review*, 2007, **24**: 85(in Chinese). (肖国青,张红,李强等.原子核物理评论,2007, **24**: 85.)
- [27] Wei Shihua, Li Sha, Zhang Hong, *et al.* *Compilation for Sixth Radiation Oncology Annual Conference of Chinese*. Beijing:

Chinese Society for Therapeutic Radiology and Oncology,  
2007, **11**: 360(in Chinese).  
(魏世华,李 莎,张 红等. 第6届全国肿瘤放射治疗学学术

汇编. 北京: 中华医学会放射肿瘤治疗学会议编, 2007, **11**:  
360.)

## Progress in Tumor Radiotherapy with Carbon Ion Beams<sup>\*</sup>

WEI Shi-hua<sup>1, 1)</sup>, LIU Qian<sup>2</sup>

(1 *Department of Radiotherapy, General Hospital of Lanzhou Military Area, Lanzhou 730050, China;*

*2 Institute of Materia Medica & Peking Union Medical College, Chinese Academy of*

*Medical Sciences, Beijing 100050, China)*

**Abstract:** Heavy ions (carbon ions) were considered currently as the best radiation in radiotherapy for their two superiorities in the physical and biological properties. This paper firstly put the focus on the history of development of heavy-ion radiotherapy in the world, then a comprehensive analysis of the indications and radiation damages of normal tissues in clinical trails of heavy-ion therapy was made based on the published data by NIRS. Moreover, the prospect of using carbon ions in radiotherapy was estimated by analyzing the potential patients' number, its related instruments and etc.

**Key words:** tumor; radiotherapy; carbon ion; heavy ion; high-LET

---

\* **Received date:** 16 Jan. 2008; **Revised date:** 4 Aug. 2008

\* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China(10675151); National High Technology Research and Development Program (863 Program) of China(2006AA02Z499)

1) E-mail: doctor. weishihua@gmail.com