

CNIC-01406
SMC-0154

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

鼻咽癌放射治疗照射野外组织器官的剂量研究

**STUDY ON THE DOSE TO RADIATION SENSITIVE
ORGANS AND STRUCTURES OUTSIDE THE
TREATMENT FIELD FOR NASOPHARYNGEAL
CARCINOMA**

(In Chinese)



中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press



周菊英：1988年毕业于苏州医学院，1997年获放射医学硕士学位，现在苏州医学院附属第一医院放疗科工作。

ZHOU Juying: Graduated from Suzhou Medical College in 1988. Received Master's degree of radiation medicine in 1997. Working in Department of Irradiation Oncology, The First Hospital Affiliated to Suzhou Medical College.

CNIC-01406
SMC-0154

鼻咽癌放射治疗照射野外组织器官的 剂量研究

周菊英 涂 彧 姜德智 许昌韶

(苏州医学院, 215007)

摘 要

研究了用两种不同放射线治疗鼻咽癌时, 照射野外重要组织器官的受照剂量, 为临床合理选用放射线, 优化治疗计划提供剂量依据。借用非均匀组织等效拟人体模型, 模拟鼻咽癌放射治疗, 预先在拟人体模型的所关注的靶外器官内埋置热释光剂量计, 尔后分别在 ^{60}Co 机及电子直线加速器的 6 MV X 线上按常规设野照射模型。 ^{60}Co γ 射线照射时, 对于不同部位的不同组织器官, 采用各不相同的屏蔽方法。用 ^{60}Co γ 射线治疗时对眼晶体、视网膜以铅进行阴影屏蔽时受照剂量下降了约 20%, 对睾丸进行接触屏蔽时剂量下降了 75%。结果表明, 眼晶体、垂体、甲状腺可发生病理性改变, 在治疗鼻咽癌时应尽可能选用直线加速器, 若用 ^{60}Co γ 射线治疗, 须用阴影屏蔽的方法来降低照射野外紧邻部位组织的剂量。

Study on the Dose to Radiation Sensitive Organs and Structures Outside the Treatment Field for Nasopharyngeal Carcinoma

(In Chinese)

ZHOU Juying TU Yu JIANG Dezhi XU Changshao
(Suzhou Medical College, 215007)

ABSTRACT

The doses to radiation sensitive organs and structures located outside the radiotherapeutic target volume for nasopharyngeal carcinoma treatment are determined. Clinically relevant treatment fields were simulated on a tissue-equivalent anthropomorphic phantom and subsequently irradiated with ^{60}Co γ rays and 6 MV X ray beams. Thermoluminescent dosimeters (TLD) were used to measure absorbed doses of lens, retinal, pituitary, thyroid (isthmus) et al. Modifications to the basic techniques studied included placement of an eye block on the tray of ^{60}Co machine and a block on the surface of testis. The total treatment doses to lens, retinal, pituitary and thyroid when irradiated with ^{60}Co γ rays are given. When irradiated with 6 MV X ray beams, the doses to the organs outside treatment field were lower than those irradiated with ^{60}Co γ rays. The results show that the total lens dose could be cataractogenic, pituitary and thyroid doses have the potential of causing endocrine deficiencies. The doses to the lens and retinal could be reduced by placing an additional block and 6 MV X ray beams could be a better choice to treat nasopharyngeal carcinoma.

前言

随着社会的发展,人类的疾病谱正日益发生着变化,恶性肿瘤已经成为了一种常见病。在工业化国家中恶性肿瘤年发病率大约为每百万人口 3500 例,其中 60%~70%的病人需接受放射治疗,预计全世界目前每年有 1000 万例恶性肿瘤发生,其中约 600 万例进行放疗。但是在肿瘤放射治疗中人们的注意力主要是集中在照射野内的组织器官的受照剂量,实际上照射野外的组织器官也受到相当数量的辐射量,这些剂量被叫作周边剂量或次级剂量^[1]。这些剂量与肿瘤患者放疗后的远期反应有关,而且随着放疗水平的提高,肿瘤患者治疗后生存期逐渐延长,这些远期效应越来越显现出来,直接影响着患者的生存质量,目前已引起了放疗学术界的注意。但是这些次级剂量通常在治疗计划系统中并不描述,需另行测定或计算,才能对照射野外组织器官的潜在危险作出评价。可是在活体身上直接测量受到种种限制,只能通过间接途径。自 70 年代人们就开始进行测定或用数学公式计算照射野外组织器官的剂量^[2, 3],但先前这些研究工作大多未用拟人型辐照体模,照射野为正方形或长方形,而且也未报告某一特定器官的受照剂量。为此我们借助非均匀组织等效拟人体模型,间接测量鼻咽癌放射治疗中照射野外所关心的组织器官的受照剂量,并对某些靶外器官进行的屏蔽效果进行研究。

1 材料与方 法

1.1 非均匀组织等效拟人体模型 (phantom)

该模型是自行研制的 SZMC-III 型,它是用不同的人体组织等效材料制成的,骨架为真人的尸体骨架。模型身高 170.0 cm,体重 60.0 kg,不带四肢,分为头颈、胸腹、腹臀三段。含脑组织、甲状腺、主支气管、胸主动脉、肺、食管、心脏、横膈、胃、脾、肝、胰腺、肾、大小肠、膀胱和睾丸等 16 个器官。除了脑组织、甲状腺和睾丸被嵌固在相应部位以外,其余器官可以拆卸。体表和体腔内壁喷有聚胺酯清漆保护膜,呈皮肉色。主要内脏器官按三维坐标定位后,X 线透视影象及 X 线 CT 图像的轮廓清楚逼真。主要内脏器官相对于水的电子密度与健康男子相比,除胰腺外,其它器官的偏差不大于 3.0%。实验过程中以此 phantom 模拟典型的成年男子鼻咽癌放疗。

1.2 热释光剂量计 (TLD) 及读数仪

所用的 TLD 是由中国防化研究院研制的 GR-200A LiF (Mg,Cu,P)。测量前为提高测量结果的稳定性,首先进行剂量片的筛选工作,在三次剂量测量中分散性均小于 30%者用于剂量测定:为了保证所测剂量有可比性,剂量片经筛选后在上海市剂量研究所进行剂量刻度,刻度剂量为 0.00 Gy, 0.05 Gy, 0.10 Gy, 0.15 Gy, 0.20 Gy, 0.25 Gy 和 0.30 Gy,得标准读数-剂量方程 $Y = -0.004 807 + 0.000 534 X$ 。式中 Y 为剂量值, X 为读数,相关系数 $r = 0.9953$ 。经检验,方程成立。同时还把 TLD 所测剂量值与已经刻度过的 UNIDOS 型 PTW 剂量计的所测剂量值进行比较,比较结果见表 1。热释光读数仪为国产 FJ-377 型,测量条件:预热 135 °C/15 s,读数 240 °C/20 s。退火使用 FJ 411 退火炉,退火温度 240 °C,退火时间 15 min,测读值均扣除天然本底及机器本底。热释光剂量仪

参加过江苏省比对测量，合格。

表 1 照射野外同一位置 PTW 与 TLD 的测量值比较

PTW 测量值/mGy	TLD 测量值/mGy	偏差/%
4.99	5.03	+0.80
9.90	9.77	-1.26
20.09	21.07	+4.90
23.44	24.38	+4.01
30.54	31.20	+2.16

1.3 模拟设野及 TLD 布置

在非均匀体模上模拟鼻咽癌患者放疗时的常规设野，即双侧耳前野及颈部大切线野，如图 1 所示。在关心的照射野外的器官：眼晶体、视网膜、垂体（野外部分）、甲状腺（颊部）、乳腺、肺、肝、肾、小肠、膀胱、卵巢（估计位置）、睾丸等 12 个器官上钻孔，在每一个孔内置入经筛选过的 TLD 计量片三片，然后用组织等效材料填充空隙，以便消除空腔效应，并把模型按要求装好。

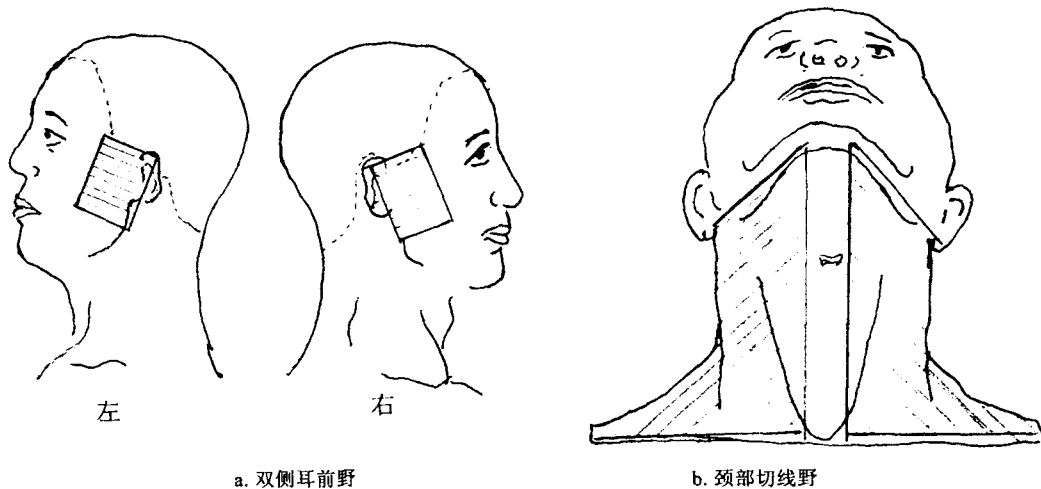


图 1 模拟照射野

1.4 模拟照射

1.4.1 正常照射 模拟鼻咽癌患者的单次照射条件，即二平行耳前野（面积 $6.0\text{ cm} \times 8.0\text{ cm}$ ），中线平面剂量为 2.0 Gy ；颈部大切线野（面积 $15.0\text{ cm} \times 20.0\text{ cm}$ ），颈淋巴结剂量 2.0 Gy 。分别在 ^{60}Co γ 射线治疗机（上海医疗设备厂生产的 FYC-50H 型，源皮距为 70 cm ）和 6 MV X 线电子直线加速器（英国菲利普公司生产的 SL-18 型，源皮距为 100 cm ）上照射，为使所得剂量可靠，在相同照射条件下重复照射三次，取平均值。然后把所得剂量推算至鼻咽部及颈淋巴结常规治疗 60 Gy 时的总剂量。为了便于计算，本实

验把鼻咽部耳前野照射及颈部大切线野照射的剂量分别测量、计算。

1.4.2 屏蔽照射 在⁶⁰Co γ射线治疗机上照射耳前野时，将铅块置于托架上紧贴耳前野鼻侧部野外，即阴影屏蔽，使眼睛位于挡铅的阴影之下，铅块大小为5.0 cm×5.0 cm×10 cm，在其他条件不变的情况下，重复正常照射过程，再次测量上述靶外器官的受照剂量；将10.0 cm×15.0 cm×5 cm的铅块覆盖在睾丸的表面，即接触屏蔽，在其他条件不变的情况下，重复正常照射过程，并测量上述靶外器官的剂量。

2 结果

表 2 12 个器官在不同照射情况下的受照剂量 (CGy)

器 官	⁶⁰ Co γ射线 ¹⁾	⁶⁰ Co γ射线 ²⁾	⁶⁰ Co γ射线 ³⁾	6 MV X 射线
晶体	470.85	368.72	472.86	356.54
视网膜	732.78	605.47	733.53	454.38
垂体	1030.87	1033.56	1031.44	788.67
甲状腺	987.52	989.24	984.76	647.55
乳腺	121.73	122.80	121.82	113.32
肺脏	108.46	105.68	107.34	86.28
肝脏	53.32	52.84	53.86	21.92
肾脏	31.43	30.98	31.34	8.93
小肠	30.36	30.76	30.88	6.30
膀胱	28.35	27.74	28.24	4.99
卵巢	27.94	27.68	27.86	5.08
睾丸	48.92	47.96	13.07	6.26

注：1)：常规情况下照射；2) 耳前野照射时鼻侧部紧邻照射野野外挡铅；3) 照射时睾丸表面置铅。

鼻咽癌放疗过程中照射野外所关心器官的受照剂量见表 2。总的来看离照射野较近的器官如眼晶体、视网膜、垂体、甲状腺所受剂量较高，离照射野较远的腹部器官受照剂量较低。胸部器官的剂量较腹部稍高，但明显低于头部器官，规律是离照射野越近，受照剂量越高，离照射野越远，受照剂量越低。然而睾丸的剂量明显高于腹部器官，可能是其所处位置较浅。另外可以看出，在耳前野照射时鼻侧部野外行阴影屏蔽后，眼晶体、视网膜受照剂量下降了约 20%，睾丸表面行接触屏蔽后受照剂量约下降 75%。使用不同能量的射线照射时所所致野外器官的剂量亦不尽相同，6 MV X 射线照射时野外器官的剂量明显低于⁶⁰Co γ射线照射时的剂量，离照射野较近的器官约下降 20%~40%，离照射野较远的器官剂量下降更为明显，约为⁶⁰Co 照射时的 1/5 ($P < 0.001$)。

3 讨论

肿瘤放射治疗总的原则是在最大限度地消灭肿瘤的同时尽可能保护正常组织。因此

拟订最优化治疗计划时遵循的原则应该是在保证照射体积内得到足够的处方剂量的同时,要尽量地减少靶外正常组织器官的受照剂量,避免或减轻照射野外组织器官的辐射损伤。一般认为次级剂量主要来自以下三个方面^[1, 4, 5]:(1)病人体内的散射线;(2)治疗机、机房墙面、地面等的散射线;(3)治疗机头的漏射线。离照射野越近,相对来说受照剂量越高,其中体内散射线所占比例较高;离照射野越远,则受照剂量越低,当离照射野的距离大于 50 cm 时,机器漏射线占主要成份;机器等所造成的散射线在总的次级剂量中所占的比例随着与照射野的距离而变化,大概约占 20%~40%。因此,次级剂量的大小随着照射野、照射剂量、被测量的位置,以及机器条件的变化而变化^[4]。本次实验结果也显示出离照射野较远的腹部器官受照剂量<胸部器官<头颈部器官。

用于肿瘤放射治疗剂量测量的探测器通常有电离室、胶片剂量计、热释光剂量计(TLD),以及硅二极管探测器等^[6]。我们采用 LiF (Mg,Cu,p) TLD 元件,因为它具有对光子灵敏度高、组织等效性好、能量响应好、线性范围宽、几乎无剂量依赖性、贮存信息稳定等优点,而且 TLD 元件适用于小照射野的剂量测量,可以置入拟人体模型内测量不同内脏器官的剂量^[6, 7]。本实验 TLD 所测得的剂量数据与 PTW 的测量数据比,偏差小于 5.0%。所以认为用 TLD 所测剂量数据是可靠的。另外本实验采用体模模拟测量,所用的非均匀组织拟人体模型基本上能代表中国成年男性的身高、体重、内脏大小及组织等效性等有关参数^[8],因此,间接测量的组织器官的剂量比较接近于实际受照剂量。

⁶⁰Co γ 射线治疗鼻咽癌时,眼晶体受照剂量为 470.85 cGy;而使用 6 MV X 线治疗时眼晶体的受照剂量为 356.54 cGy,约为 ⁶⁰Co γ 射线治疗时的 3/4。郭振峰报道了 3 例放射工作人员眼晶体后囊发生白内障的剂量为 47.3~50.6 cGy。Merriam 和 Foht 发现电离辐射诱发的白内障的阈剂量与接受照射的时间有关,单次照射阈剂量为 200 cGy,在 3 周至 3 个月内分次接受照射时阈剂量为 400 cGy,在 3 个月以上的时间内分次照射阈剂量则可达 550 cGy^[9]。鼻咽癌放疗常规在 6 周内给予全部的治疗剂量,因此从测得的数据来看,鼻咽癌患者放疗后存在发生放射性白内障的潜在危险。Parsons^[10]等观察了 74 例鼻咽、副鼻窦、眶内肿瘤等放疗患者,他们接受了 3200~6000 cGy 的肿瘤照射量,放疗后 8 例(约 10%)发生白内障,经白内障摘除术后有 2 例并未达到预期疗效,这可能与视网膜发生病变有关。

视网膜在 ⁶⁰Co γ 射线治疗时接受了 732.78 cGy 剂量,而用 6 MV X 线治疗时为 454.38 cGy,受照剂量比眼晶体高,因为它比晶体更接近照射野。成人发生视网膜病变的剂量各家报道不尽相同,有人认为在 30~60 Gy 之间,也有人认为在 15~20 Gy 之间^[2]。视网膜电流图、电生理学及组织学检查发现,视网膜及视神经受到 10 Gy 剂量照射有异常反应并发生病理改变^[11]。Midena^[12]等报道鼻咽癌放疗后 36%的患者出现视网膜病变,但是从我们的测量数据及文献资料来看,一般不太可能有这么高的发生率,这可能是患者病变范围较广,照射时眼睛包括在照射野内之故。尽管从所测数据来看预计不足以引起视网膜病理改变,但也应引起我们注意,因为用 ⁶⁰Co γ 射线照射时视网膜接受的剂量已很接近于阈剂量。

鼻咽癌放疗时垂体接受的二次射线是否具有临床意义一直是个有争议的问题,因为垂体对电离辐射的耐受性众说纷纭。有人认为垂体对电离辐射有一定的耐受性,即使接

受 1900 cGy 也未显示出病理改变^[13]，但是 Samaan 等^[14]认为鼻咽癌放疗后发生垂体功能障碍的概率要比我们已往想象的高得多。Samaan 等观察了 166 例鼻咽、副鼻窦癌放疗患者，他们垂体受照剂量为 400~7500 cGy，中位数 5700 cGy，其中 134 例发生内分泌功能下降，67 例表现为原发性垂体功能低下。在鼻咽癌的放射治疗中一部分垂体是在照射野内的，受照剂量较高，我们测量的是野外部分垂体的受照剂量为 1030.87 cGy (⁶⁰Co γ 射线照射) 和 788.67 cGy (6 MV X 射线照射)，因此不能忽视鼻咽癌放疗后患者出现垂体功能低下的危险性。

实际上在鼻咽癌的放疗中，甲状腺除了颈部以外，其他部分均在颈部切线野之中。尽管喉部以铅屏蔽，但铅屏蔽下的组织仍能受到一定的剂量。同时铅屏蔽物的引入又会使邻近组织的剂量受到影响。因此颈部切线野内的剂量不一定与处方剂量相符。我们测量的是甲状腺颈部剂量，⁶⁰Co γ 射线照射时的剂量为 987.52 cGy，6 MV X 射线照射时为 647.55 cGy。Foo^[11]等测量到照射野内甲状腺 ⁶⁰Co γ 射线照射时最高剂量约为 5500 cGy，6 MV X 射线为 8000 cGy。这些差异主要由于这两种射线的百分深度量、半影等的不同引起。研究表明，甲状腺对放射线较为敏感，约 1000 cGy 就能引起甲状腺功能低下，根据测量到的剂量及有关经验^[11, 15]，可以认为鼻咽癌患者放疗后很有可能发生甲状腺功能低下，因此，对一些有甲状腺功能低下临床表现的鼻咽癌放疗患者有必要服用一些提高甲状腺功能的药物。

用 ⁶⁰Co γ 射线耳前野照射时，进行阴影屏蔽后，眼晶体剂量由 470.85 cGy 降至 368.72 cGy，视网膜剂量则由 732.78 cGy 降至 605.47 cGy，剂量约降低了 20%，其余组织器官的剂量变化不明显。铅屏蔽物的引入减少了几何半影及穿射半影，因此使照射野邻近组织的剂量得以降低。Pakisich 等用相同方法得到了类似的结果^[16]。还有报道，用 8 MV X 射线亦能明显降低照射野周边组织的剂量。我们测量到用 6 MV X 射线照射时的照射野周边组织的剂量亦较 ⁶⁰Co γ 射线照射时的低，这主要是因为 X 射线能量高、百分深度量高、体内散射少、几何半影小。

眼晶体、视网膜、垂体、甲状腺是鼻咽癌放疗时与照射野紧邻的组织器官，在测量这些器官剂量的同时还测量了胸部、腹部的一些重要器官以及性腺的受照剂量。这些组织器官与照射野相隔一定的距离，受到的剂量较小，⁶⁰Co γ 射线照射时约为 28~120 cGy，6 MV X 射线照射时为 6~90 cGy，明显较 ⁶⁰Co γ 射线照射时小，这可能与机器的本身条件有关，因为远离照射野的组织器官所受剂量主要来自机器的漏射线。在所测的器官中，睾丸离照射野最远，但是其受照剂量较其它胸腹部器官高，可能是由于睾丸的位置较浅。上述剂量不足以引起这些器官发生确定性效应。

射线不仅能引起确定性效应，还能诱发随机性效应。辐射致癌效应近年来已引起人们极大的关注。研究表明，电离辐射是一种弱的致癌基因激活剂，强的抑癌基因失活剂。辐射致癌通常认为无剂量阈值，即使照射剂量很低也能引起癌症发生概率的增加，据报道经过放疗的 6000 例宫颈癌患者中发生二次恶性肿瘤的危险度比未经放疗的对照组高 1.5 倍^[17]。因此，尽管胸腹部器官及性腺所受剂量较低，我们仍应尽可能使其降低。在 ⁶⁰Co γ 射线照射时行接触屏蔽后，睾丸的受照剂量由 48.92 cGy 降至 13.07 cGy，约下降了 75%，因此设置适当的铅屏蔽是降低睾丸剂量的有效方法。可是在人体表面无法放置这么厚重的铅，为了使剂量降低而能应用于实际，可设想制作用于放置铅块的托架。

纵观 ^{60}Co γ 射线及 6 MV X 射线在治疗鼻咽癌时所致的照射野外组织器官的剂量, 不论是邻近照射野的器官还是远离照射野的器官, 用 6 MV X 射线照射时受到的剂量均较 ^{60}Co γ 射线照射时明显为低, 而且高能 X 射线能更好地调制靶区剂量^[18], 因此在治疗像鼻咽癌这类深部组织的肿瘤时应尽可能地选用高能 X 射线。目前, 我国直线加速器尚未普及, 还有许多医疗单位仍然在使用 ^{60}Co γ 射线治疗机, 为降低邻近照射野的射线敏感组织器官的剂量, 建议在紧邻照射野外敏感组织侧放置铅屏蔽。

参 考 文 献

- 1 Foo ML, Mcculloch EC, Foote RL, et al. Dose to radiotherapeutic target volume fortreatment situation. *Int. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 1993, 27(2): 403~417
- 2 Bhatnagar JP. Secondary radiation from supervoltage accelerators—its implication in patient protection. *Brit. J. Radial.*, 1977, 50: 449~450
- 3 Mcparland B, Fair H.A. Method of calculation peripheral dose distribution of photon beams below 10 MV. *Med. Phys.*, 1992, 19: 283~293
- 4 Kase KR, Svensson GK, Wolbarst AB, et al. Measurements of does from secondsry radiation outside a treatment field. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 1983, 9(8): 1177~1183
- 5 Stovall M, Blackwell CR, Cundiff J, et al. Fetal dose from radiotherapy with photon beams: Report of AAPM radiation therapy committee task group No.36. *Med. Phys.* 1995, 22(1): 63~82
- 6 周菊英, 姜德智, 许昌韶. 放射治疗剂量测量的探测器选择, *国外医学临床放射学分册*, 1996, (5): 315~317
- 7 Nariyama N, Tanaka SI, Nakane Y, et al. Absorbed dose measurements and calculations in phantoms for 1. 5 to 50 keV photons. *Health Phys.*, 1995, 68(2): 253~260
- 8 赵经涌主编. 辐射效应与职业危害防护. 北京: 原子能出版社, 1995年, 274~280
- 9 Merriam R, Focht EF. A clinical study of radiation cataracts and the relationship to dose. *Am. J. Roentgenol.*, 1957, 77: 759~785
- 10 Parsons JT, Fitzgerald CR, Hood CI, et al. The effects of irradiation on the eye and optic nerve. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phy.*, 1983, 9:609~622
- 11 Elsas T, Thorud E, Jetne V, et al. Retinopathy after low dose irradiation for an intracranial tumor of the frontal lobe. *Acta. Ophthalmol.*, 1988, 66: 65~68
- 12 Miden E, Segato T, Piermarocchi S, et al. Retinopathy following radiation therapy of paranasal sinus and nasopharyngeal carcinoma. *Retina.*, 1987, 7: 142~147
- 13 Deschryver A, Ljunggren J, Baryd I. Pituitary function in long-term survival after radiation therapy of nasopharyngeal tumor. *Acta Radiat.*, 1973, 12: 497~508
- 14 Samaan NA, Schultz PN, Yang KP, et al. Endocrine complications after radiotherapy for tumors of the head and neck. *J. Lab. Clin. Med.*, 1987, 109: 364~372
- 15 许昌韶, 姚德元, 高耀明等. 放射治疗对肿瘤病人血清总 T3、4 和 TSH 的早期影响. *苏州医学院学报*. 1991, 11(4): 288~289
- 16 Pakisch B, Stucklschweiger G, Poier E, et al. Rudction of the dose to the lens in prophylactic cranial irradiation: A comparison of three different treatment techniques and two different beam qualities. *Int. J. Oncol. Biol. Phys.*, 1992, 23: 183~188
- 17 Klernerman RA. Second cancer of following radiotherapy for cervcal cancer. *JNCI*. 1982, 69: 1027~1033
- 18 Esik O, Schlegel W, Doll J, et al. Three-dimensional photon radiotherapy planning for laryngeal and hypopharyngeal tumours. *Acta Oncol.* 1990, 29(4): 439~446

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核科技报告 CNIC-01406, SMC-0154: 鼻咽癌放射
治疗照射野外组织器官的剂量研究/周菊英等著. —北京:
原子能出版社, 1999. 12

ISBN 7-5022-2068-2

I. 中… II. 周… III. 核技术-中国-研究报告 IV. TL-2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 47075 号

原子能出版社出版发行

责任编辑: 孙凤春

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1092mm 1/16 印张 1/2 字数 12 千字

1999 年 11 月北京第一版 1999 年 11 月北京第一次印刷

印数: 1—200

定价: 5.00 元

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-2068-2



9 787502 220686 >