

全国卫生专业技术资格考试指导

2019

# 肿瘤放射治疗技术

全国卫生专业技术资格考试用书编写专家委员会 编写

适用专业

肿瘤放射治疗技术（中级） 专业388

附赠考试大纲

考前必备  
权威畅销

人民卫生出版社

全国卫生专业技术资格考试指导

# 2019 肿瘤放射治疗技术

附赠  
考试大纲

适用专业

肿瘤放射治疗技术（中级）

全国卫生专业技术资格考试用书编写专家委员会 / 编写

人民卫生出版社

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

2019 全国卫生专业技术资格考试指导·肿瘤放射治疗  
技术 / 全国卫生专业技术资格考试用书编写专家委员会  
编写. —北京: 人民卫生出版社, 2018

ISBN 978-7-117-27699-3

I. ①2… II. ①全… III. ①医学 - 资格考试 - 自学  
参考资料②肿瘤 - 放射治疗学 - 资格考试 - 自学参考资料  
IV. ①R-42②R730.55

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 253573 号

人卫智网	<a href="http://www.ipmph.com">www.ipmph.com</a>	医学教育、学术、考试、健康, 购书智慧智能综合服务平台
人卫官网	<a href="http://www.pmph.com">www.pmph.com</a>	人卫官方资讯发布平台

版权所有, 侵权必究!

## 2019 全国卫生专业技术资格考试指导 肿瘤放射治疗技术

编 写: 全国卫生专业技术资格考试用书编写专家委员会

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: [pmph@pmph.com](mailto:pmph@pmph.com)

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 北京京华虎彩印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 17

字 数: 446 千字

版 次: 2018 年 12 月第 1 版 2018 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-27699-3

定 价: 72.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: [WQ@pmph.com](mailto:WQ@pmph.com)

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

## 出版说明

为贯彻原国家人事部、卫生部《关于加强卫生专业技术职务评聘工作的通知》等相关文件的精神,自2001年全国卫生专业初、中级技术资格以考代评工作正式实施。通过考试取得的资格代表了相应级别技术职务要求的水平与能力,作为单位聘任相应技术职务的必要依据。

为了帮助广大考生做好考前复习工作,特组织国内有关专家、教授编写了《2019全国卫生专业技术资格考试指导》肿瘤放射治疗技术部分。本书是以相应技术资格评审条件为基本依据,根据考试大纲中的具体要求,参考国内外权威著作,将考试大纲中的各知识点与学科的重点系统性地结合起来,以便于考生理解、记忆。本书全文分为四篇,与考试科目的关系如下:

“基础知识”:考试内容为考试指导第一篇的内容,包括总论、放射治疗物理学基础、放射治疗生物学基础。

“相关专业知识”:考试内容为考试指导第二篇的内容,包括头颈部肿瘤、胸部肿瘤、腹部肿瘤、宫颈癌。

“专业知识”:考试内容为考试指导第三篇的内容,包括放射治疗机及辅助设备、放射治疗过程、照射技术和照射野设计、调强适形和立体定向放射治疗、放射治疗的质量保证。

“专业实践能力”:考试内容为考试指导第四篇的内容,包括放射治疗技师的职责、常见肿瘤的模拟定位技术、常见肿瘤的照射摆位技术。

欢迎广大考生和专业人士来信交流学习:kszd2020@163.com。

# 目 录

## 第一篇 基础知识

第一章 总论..... 1	第三节 电离辐射的物理剂量量度和 剂量测量 ..... 17
第一节 放射治疗的历史、现状和 发展方向..... 1	第四节 X( $\gamma$ )线射野剂量学 ..... 22
第二节 放射治疗技师在放疗中的 地位..... 4	第五节 高能电子束 ..... 30
第三节 放射治疗技师应具备的基本 技能..... 4	第六节 辐射防护 ..... 32
第二章 放射治疗物理学基础..... 7	第三章 放射治疗生物学基础 ..... 36
第一节 核物理基础..... 7	第一节 放射生物在放射治疗中的 意义 ..... 36
第二节 电离辐射与物质的相互 作用 ..... 12	第二节 电离辐射对生物的作用 ..... 36
	第三节 正常组织放射耐受量 ..... 38
	第四节 改变放射效应的措施 ..... 41

## 第二篇 相关专业知识

第一章 头颈部肿瘤 ..... 43	第三节 胸腺肿瘤 ..... 73
第一节 概述 ..... 43	第三章 腹部肿瘤 ..... 76
第二节 鼻咽癌 ..... 50	第一节 乳腺癌 ..... 76
第三节 口腔癌 ..... 52	第二节 恶性淋巴瘤 ..... 79
第四节 喉癌 ..... 54	第三节 直肠癌 ..... 83
第五节 鼻腔-鼻窦癌 ..... 56	第四节 睾丸恶性肿瘤 ..... 85
第六节 脑瘤 ..... 58	第五节 前列腺癌 ..... 86
第七节 垂体瘤 ..... 63	第四章 宫颈癌 ..... 89
第八节 脑转移瘤 ..... 64	第一节 概述 ..... 89
第二章 胸部肿瘤 ..... 66	第二节 治疗原则 ..... 90
第一节 食管癌 ..... 66	第三节 放射治疗 ..... 90
第二节 肺癌(原发性支气管肺癌)..... 69	

## 第三篇 专业知识

第一章 放射治疗机及辅助设备 .....	93	第二节 外照射技术的分类及其特点 .....	145
第一节 放射源的物理性质 .....	93	第三节 高能电子束和 X( $\gamma$ )线照射野设计原理 .....	145
第二节 kV 级 X 线治疗机 .....	98	第四节 相邻野设计 .....	150
第三节 远距离 <sup>60</sup> 钴治疗机 .....	102	第五节 切线野技术 .....	154
第四节 医用电子直线加速器 .....	108	第四章 调强适形和立体定向放射治疗 .....	157
第五节 近距离治疗装置 .....	112	第一节 适形放射治疗 .....	157
第六节 模拟定位机和 CT 模拟机 .....	118	第二节 X( $\gamma$ )线立体定向治疗 .....	168
第七节 治疗计划系统 .....	122	第五章 放射治疗的质量保证 .....	179
第八节 射野挡块及组织补偿 .....	126	第一节 质量保证要求 .....	179
第九节 治疗验证及其设备 .....	129	第二节 放射治疗设备的质量保证 .....	181
第二章 放射治疗过程 .....	134	第三节 治疗传输 .....	185
第一节 临床剂量学原则 .....	134	第四节 质量核查 .....	188
第二节 靶体积的定义和剂量描述方法 .....	134	第五节 放疗科信息管理系统 .....	189
第三节 放射治疗过程 .....	136		
第三章 照射技术和照射野设计 .....	143		
第一节 放射源的合理选择 .....	143		

## 第四篇 专业实践能力

第一章 放射治疗技师的职责 .....	193	第三章 常见肿瘤的照射摆位技术 .....	229
第一节 放射治疗技术员的工作职责 .....	193	第一节 治疗体位及体位固定技术 .....	229
第二节 放射治疗技术员的工作要求及质量 .....	195	第二节 源皮距(SSD)摆位技术 .....	232
第三节 应急处理 .....	208	第三节 等中心(SAD)照射技术 .....	236
第二章 常见肿瘤的模拟定位技术 .....	210	第四节 乳腺癌切线照射及相邻野照射 .....	241
第一节 头颈部肿瘤模拟定位技术 .....	210	第五节 上颌窦癌楔形板照射技术 .....	245
第二节 胸部肿瘤模拟定位技术 .....	213	第六节 大面积不规则野照射技术 .....	247
第三节 腹部肿瘤模拟定位技术 .....	219	第七节 X( $\gamma$ )线全身照射技术和电子线全身皮肤照射技术 .....	251
第四节 恶性淋巴瘤的定位技术 .....	220		
第五节 全脑全脊髓的定位技术 .....	222		
第六节 CT 模拟定位技术 .....	223		
肿瘤放射治疗技术考试大纲 .....	256		

# 第一篇 基础知识

## 第一章 总论

放射治疗是利用放射线治疗疾病的手段。由于主要用来治疗恶性肿瘤,因此现在都称之为“放射肿瘤学”(radiation oncology),它和外科肿瘤学、内科肿瘤学(化疗)仍然是治疗恶性肿瘤的三大主要手段。根据国内外统计,大约三分之二的肿瘤患者在病情的不同阶段,出于不同目的需要放射治疗,包括根治性放射治疗和姑息性放射治疗。

根治性放射治疗可以是单一放射治疗,也可以和手术(术前放疗、术后放疗和术中放疗)或化疗(诱导化疗——放射治疗开始前用;同期放化疗——化疗在放射治疗同时应用;辅助化疗——放射治疗结束后用)配合。通常,根治性放射治疗包括原发灶和相关的淋巴引流区,照射剂量比较高。姑息性放射治疗的目的是减轻因肿瘤引起的主要症状,改善患者的生活质量。通常在较短时间内给予低于根治性放射治疗的剂量,不追求肿瘤消退,同时也不会因放射治疗反应而增加患者的痛苦。对肿瘤出血、止痛、缓解梗阻或阻塞以及预防病理性骨折发生等都很有效。

### 第一节 放射治疗的历史、现状和发展方向

#### 一、放射治疗的历史

与医学其他学科相比,放射治疗历史比较短,只有 100 多年。1895 年伦琴发现了 X 线;1898 年居里夫人发现镭,不久就将放射线应用在临床治疗中;1922 年出现深部 X 线机,治愈了 1 例喉癌患者,从此,深部 X 线治疗逐步增多,但 X 线的深度剂量低,皮肤反应大,只能治疗表浅肿瘤;20 世纪 50 年代有了<sup>60</sup>钴远距离治疗机,由于深度剂量比深部 X 线明显提高,并具有皮肤减免作用等物理特性,在临床上能够治疗深部肿瘤,疗效也明显提高;从 60 年代出现的电子直线加速器至今是临床应用最广的外照射治疗机。

近距离放射治疗多年来主要应用镭。配合外照射,在子宫颈癌、舌癌等多种部位肿瘤获得较好疗效。由于镭的防护要求很高,目前已不用于临床治疗。现在主要有<sup>192</sup>铱、<sup>137</sup>铯、<sup>60</sup>钴、<sup>125</sup>碘、<sup>198</sup>金、<sup>252</sup>钐等放射源,并有计算机系统遥控近距离放射治疗机。

放射剂量学:20 世纪 30 年代有物理剂量-伦琴(r),50 年代后有吸收剂量拉德(rad),之后



有格雷(Gy, Gray)。1Gy=100cGy,相当于100rad。相应在放射防护等也有Sv计量单位。就近距离放射治疗而言,早年放射剂量以镭毫克数乘以小时数进行换算。当应用其他放射源时,则以克镭当量计算伦琴数。后来曼彻斯特系统和巴黎系统逐渐向伦琴单位转变。直到80年代发展了现代近距离放射治疗。

放射生物学:由于在放射治疗早期阶段不了解放射线的生物效应,尤其在缺乏相关物理年代,只用发生皮肤红斑反应作为剂量参考,由于临床实践经验的累积,1934年Coutard发明的分割放射治疗方案,成为沿用至今的基本模式,也就是进行分割放射可以达到比单次放射好的疗效,同时放射反应也较轻。1956年,细胞集落形成率的实验成功,以及对放射线引起细胞增殖死亡的概念,也沿用至今。<sup>60</sup>钴的应用及疗效的提高,能观察到长期存活患者的后期放射损伤。临床上对剂量-分割-时间的关系也开始逐步有所了解。20世纪70年代Ellis提出NSD公式曾被应用于放射治疗方案的换算,但很快就被L-Q模式取代。L-Q模式最大特点是区分了肿瘤早期反应正常组织和晚期反应正常组织。虽然它存在不少局限性,但一直沿用至今。

我国放射治疗历史可追溯到20世纪30年代,应用深部X线和镭治疗。直到解放初期也只有几家医院有放射治疗设备,专业人员总共仅十余人。以后,开展放射治疗的医院逐渐增多,尤其是60年代以来,放射治疗发展很快,除了在专科肿瘤医院外,不少综合性医院也相继建立放射治疗科(或在肿瘤科内),并且和国际上一样脱离了放射科成为独立的临床学科。1987年成立了中华放射肿瘤学会,1992年起发行《中华放射肿瘤学杂志》。根据中华放射肿瘤学会调查结果显示,1986年全国有放射治疗医院264家,从事放射治疗专业人员4679人。电子直线加速器71台,<sup>60</sup>钴治疗机224台。到2006年,全国开展放射治疗的医院有952家,从事放射治疗事业专业人员18992人,其中医生是5247人,技术员1141人,为1986年的3.65倍。电子直线加速器和<sup>60</sup>钴治疗机的数量也分别增加到918台和472台。

## 二、放射治疗的现状

放射治疗的发展和放射治疗设备紧密相关。当前,发达国家都用电子直线加速器进行治疗,而国内不少医院仍在使用的<sup>60</sup>钴治疗。现代电子直线加速器单机可以产生2~3种不同能量的光子线(X线)和几种不同能量的电子线,适应了临床使用时的多种选择。而且相关辅助设备也迅速发展,例如模拟机、CT模拟机、三维放射治疗计划系统等。它们之间不仅可以通过网络连接,更能与影像诊断系统(CT、MRI、PET等)相连,大大提高了整体放射治疗水平。

当前,常规二维放射治疗进入了三维放射年代(3DRT),包括三维立体定向放射治疗(X线,γ线)。调强放射治疗(IMRT),提供了进行精确定位、精确设计和精确治疗系列技术。这不但使照射的高剂量适合肿瘤靶区形状,而且可以更好地达到放射治疗总原则,即达到最大限度对肿瘤杀灭的同时,把对正常组织损伤降到最低,这样才可能提高放射治疗疗效,又减少后遗症,改善患者的生活质量,是当今最高形式的放射治疗手段。

调强放射治疗技术是一个系列过程,除了设备外,需要有掌握先进技术的队伍,更需要有严格的质量控制和质量保证。当前国内外运用IMRT技术治疗的肿瘤有前列腺癌、头颈部癌(包括鼻咽癌)、乳腺癌、肺癌等。其中从前列腺癌和鼻咽癌的临床结果显示疗效有提高,而且正常组织损伤少。

虽然临床上大多数患者目前接受的还是二维常规放射治疗,但是整体治疗疗效都有提高,放射治疗作为肿瘤综合治疗的地位也较前有较大改变。早期乳腺癌作局部切除(保乳术)加术后根治放射治疗,可以取代根治手术,疗效好且减少了根治术引起的心理和美容损害。软组织肿瘤以局部扩大切除加术后放射治疗(外放射+近距离放射治疗),取代截肢等创伤大的手术



且疗效有提高。直肠癌术后加放射治疗,提高了局部控制率同时降低了肝转移率。相反,恶性淋巴瘤、霍奇金淋巴瘤、精原细胞瘤、白血病、神经母细胞瘤等,因有效的化学治疗的进展,放射治疗范围和放射剂量都较前减少,既提高了疗效又降低了治疗后的损伤。另外,手术、放射治疗、化疗加中西医结合的综合手段在不同肿瘤治疗中的应用都在探索。

从放射生物学考虑,要注意治疗的肿瘤控制概率(TCP)和正常组织损伤发生的概率(NTCP)。虽然从L-Q模式发展出不少有关公式,但还需临床证实。

### 三、今后发展方向

要提高肿瘤放射治疗的疗效,包括提高对肿瘤的疗效和减少对正常组织器官的损伤,简单概括可以从下列几个方面考虑。

#### (一) 放射物理方面

(1) 调强放射治疗:除了放射治疗相关设备的发展外,为了减少每次放射治疗实施时肿瘤靶区位置的移动,使放射达到更精确,由影像指导的调强放射治疗(IGRT)和呼吸门控系统等都是提高放射治疗精确性的方向。

(2) 高LET射线:中子射线、重离子、轻离子,以及质子(具有高LET射线物理特性,而不具有高LET射线放射生物学特性),可以改善乏氧肿瘤细胞周期依赖性等,对一些放射敏感差的肿瘤可望提高疗效。但是这些设备价格十分昂贵。

(3) 近距离放射治疗:计算机系统发展促进了近距离放射治疗质量的提高。由于作为外放射配合应用的手段,对一些实体肿瘤还是很有效。放射源布置精确度的提高,不同放射源的选择应用,以及和加热治疗联合应用都有待继续探索。

(4) 加热治疗:和放射治疗、化疗配合仍会有一定疗效。

#### (二) 放射生物方面

(1) 非常规分割放射:虽然至今常规放射治疗仍是主要的,以上皮癌为例,每次分割剂量1.8~2Gy,一周照射5天,总剂量60~70Gy,6~8周内完成仍是有效的。但是对不同肿瘤改变疗程、分割剂量和总放射剂量仍是研究的重要方面。甚至应用调强放射治疗、三维立体定向放射等新技术,仍脱离不了分割方案。因而,结合肿瘤放射生物特性深入研究,建立不同肿瘤的放射治疗分割方案会有很重要的临床意义。

(2) 放射增敏/保护剂:增加放射线对肿瘤的生物效应,不增加正常组织损伤是放射增敏的前提;与之相反,保护正常组织(即减少放射线对正常组织损伤)而不减少肿瘤组织生物效应为放射保护的原则。继续从实验研究找到临床上有使用价值的化学制剂或生物制剂是一个重要方面。

#### (三) 全身途径

(1) 化疗:由于放射治疗是一种局部的治疗手段,在不少肿瘤局部治疗获得控制但因远处播散而导致患者死亡。找寻有效的化疗药物将有助于降低远处播散率,加大放射治疗疗效。

(2) 基因、免疫、靶向治疗:当今调强放射治疗技术已达到给予靶区内不同部位不同放射剂量,肿瘤内对放射敏感性差的乏氧细胞,增殖快的细胞群、生长比率大的细胞群是难以用当前影像学手段精确确定的,如果从广义的基础研究,用针对上述细胞群的靶向治疗可能是有价值的。

要强调的是放射肿瘤学的发展离不开其他学科的发展,对肿瘤本身生物学特性的掌握,继而给予相应的治疗,使达到最满意的疗效才是我们的目标。

## 第二节 放射治疗技师在放疗中的地位

放射肿瘤科是一个临床学科。通常临床科室主要由医师和护士组成,而放射肿瘤科则由多种人员组成一个有机团队,包括医师、技术员、放射物理师、护士、维修人员等。要对患者进行放射治疗是一个涉及多个环节的、相互紧密连接的过程,各种技术人员则承担不同的任务。

放射治疗主要流程是:放射肿瘤医师首先对患者进行全面检查,作出诊断和临床分期后,确定治疗目的(根治或姑息治疗;单一放射治疗或与手术、化疗综合治疗等)。经模拟机和(或)CT模拟机定位,确定照射肿瘤靶区与剂量和相关正常组织和器官与剂量。由放射物理师进行放射治疗计划(TPS)优化,包括放射源选择、射线种类和能量、放射野布置和剂量分配、放射野整修等。所选最佳放射治疗方案最终由放射肿瘤医师确认。然后,在模拟机和治疗机上摆位、摄验证片,在获得一个满意的结果后才可以开始进行放射治疗。

在整个放射治疗中,放射治疗技师不但是参与者,更是实施放射治疗执行者。在开始放射治疗前的一系列流程中,放射治疗技师参与了患者固定装置的制作、模拟定位全过程、制作光子射线和电子线的铅挡块、填充物,在模拟机和放射治疗上摆位和拍验证片等,一旦放射治疗开始后,每一次放射治疗都由放射治疗技师按医嘱执行,无论外放射还是近距离放射,安全、准确、无误地完成每一次治疗都影响到放射治疗质量的好坏,直接影响到患者的疗效。因此,我们说放射治疗技师在整个放射治疗过程中起着关键的作用,而不是简单的摆位、按按钮。不然放射治疗设备再先进,治疗计划再完善,放射治疗实施不好,质量不保证,放射治疗整体水平也不可能得到保证。

## 第三节 放射治疗技师应具备的基本技能

我国放射肿瘤事业的迅速发展,整体队伍不断扩大。放射治疗的设备数量增加与更新换代,参与的技术员也随之增多。据中华放射肿瘤学会四次调查显示:技术员总数在1986年仅312名,其中主管技师仅占3%,而且80%为中专或高中文化程度,大专以上仅占4%。2006年资料显示,技术员人数增加到1141名,为1986年的3.65倍,但主管技师仍占少数。但是由于大多数技术员还是由护士、放射诊断或其他专业的技术员改行而来。放射治疗技术员整体队伍层次不一的现象亟待改进以适应当前的需要。

### 一、职业道德

医务工作者应当有爱心和敬业精神,必须从人道主义出发,加强社会主义精神文明建设,提高职业道德修养,提高医疗服务质量,全心全意为患者服务。而放射治疗工作者面对绝大多数肿瘤患者,治疗的手段又是放射线,因此要求我们对每一位患者更须有高度责任心和同情心,肿瘤患者不但承受疾病引起的肉体的痛苦,同时也承受很大的精神、心理上的困扰,患者对患肿瘤的恐惧和悲观,以及对放射治疗的不了解,包括对放射治疗的恐惧和可能带来反应的顾虑等,不但会影响到患者战胜疾病的信心,也会影响到治疗的顺利进行,还会影响到患者家属精神、心理状态。放射治疗技术人员每天执行治疗任务,如果以常见上皮癌为例,常规放射治疗的疗程在6~8周,技术人员接触患者的时间甚至会多于主管的医师,他们常常是在第一线发现患者问题,及时与医师沟通的桥梁。

由于放射治疗技术人员工作的特殊性,除了严格遵守医院、科室的各项规章制度外,还要

遵守国家和地方对放射工作者的各项规定和放射设备的操作规程。要坚持严肃和严谨的工作作风。放射治疗使用放射线,是看不见但又是杀伤力很强的医疗手段。在为患者治疗的整个过程中都应当严肃对待,要高度负责,集中精力,专心致志,时刻想着自己的工作直接关系到患者的安危。当前所使用的各种放射治疗设备多数是有自动控制系统甚至计算机系统、网络系统,因而可能会发生完全依赖自动化而忽略了自己亲自观察、监控患者在机房内的情况,但是必须牢牢记住计算机系统也会出错。例如放射治疗时间(或跳数 Mu)如果没有按设定自动终止,加上操作的技术人员又未专心关注,甚至离开控制台,患者就会接受过多放射线照射,带来一系列问题,甚至发生死亡悲剧。当发生这种不正常现象时,如果操作人员有高度责任心,又熟悉其性能,就会及时发现治疗时间超出设定位的不正常现象,通过手动操作终止治疗,以防患者接受超量照射。

技术员接到放射治疗医嘱后,要了解治疗目的,认真仔细阅读各项要求,包括患者体位、照射野各有关条件、剂量以及特殊要求,如果有疑问,应当及时向主管医师反映,不能擅自改动。每次治疗后,认真填写治疗单并签名,在条件较好的科室,对定期拍验证片和其他质控检查都要很好地配合执行。由于技术人员的工作和医师、放射物理师、检修人员等关系密切,一定要记住要有团队精神,各环节工作配合好,而且要团结协作,虚心学习,不要不懂装懂。如果工作中发现问题,应当及时和有关人员协商解决,不能擅自拆开有关设备部件,要严格遵守各相关操作规程。在放射治疗实施过程中,我们既面对患者,同时应用的也都是十分昂贵的机器,对设备要爱护。放射治疗技术人员要有高度防护意识,包括遵守有关规定,佩戴防护监测胸牌,接受定期体格检查等。如发现异常情况,要从保护患者、保护设备和保护自己的角度出发,掌握必需的紧急处理方法,及时向上级领导汇报,共同解决。通常发现不正常情况是放射设备运转异常以及患者在机房内发生突发变化。

## 二、专业知识

放射治疗技术员的工作是一门多学科的专门技术。发达国家都必须是经放射治疗技师专科学校培养的毕业生才能担任放射治疗技术员工作。文化程度相当于我国大专水平。由于历年来多种因素的影响,我国至今才开始有几所培养放射治疗技术员的专科学校,远远不能适应发展的需要,因此技术员的培养基本上依靠边工作边学习和师傅带徒弟的培养方式。要成为一名放射治疗技术员,基本的文化水平是高中毕业,包括数学、物理、化学和生物等科目,由护士或其他专业转行的也必须在这文化水平基础上,同时要热爱放射治疗专业,安心工作。此外必须掌握以下相关学科知识:

1. **肿瘤学** 要了解常见肿瘤临床表现、诊断和鉴别诊断、病理类型、放射治疗适应证;哪些肿瘤对放射线敏感,哪些敏感性差;肿瘤生长和播散途径等,这样才能了解医师制订的放射治疗目的和要求;如何提高放射线对肿瘤的杀伤力和减少正常组织器官放射损伤;以及治疗后疗效和常见并发症。另外,对外科、化疗等治疗的应用也要有所了解。

2. **肿瘤解剖学** 即与肿瘤相关的应用解剖、局部解剖。不论参与模拟定位、制作铅挡块、治疗计划优化,还是实施放射治疗,都要了解所要放射治疗肿瘤所在解剖部位和它周围相关正常器官,才能正确理解放射治疗计划,才知道正确摆位,保护重要器官(如脊髓、眼晶状体、肾、喉等最为常见)。只有很好理解该患者放射治疗计划,才能正确执行实施放射治疗计划,完成患者的治疗。

3. **相关基础知识** 包括放射物理学和放射生物学。我们每天都操作放射治疗机器或辅助设备,必须掌握所操作使用的机器基本结构和性能,明了放射线如何产生、与物质作用后产



生的效应、如何根据患者的肿瘤情况选择使用不同种类与不同能量的射线、如何制作和优化出最佳放射治疗计划、如何达到肿瘤靶区最理想照射方式和剂量以及相关重要的正常组织和器官最低照射、通过哪些放射治疗技术方法达到理想放射治疗效果等。由于当前不少相关设备由较为复杂的计算机系统控制,不同设备之间业已网络化,因此,计算机知识和外语能力也是不可缺少的。在放射生物学方面,必须了解不同放射线对人体组织的生物效应、为何利用放射线可以治疗肿瘤并能得到一定效果、放射治疗引起什么急性和后期反应、各重要组织器官对放射线耐受量是多少、如何从放射生物学概念提高放射线对肿瘤杀灭的能力和保护正常组织减少放射损伤,以达到最终提高肿瘤放射治疗疗效同时又改善患者生活质量的目的。

4. 其他 放射治疗技术员工作是医护工作中一种专业性较强的工作,必须了解和掌握一些医学心理学知识(包括患者及其家属和亲友和工作人员)和一般的护理知识,这样在临床工作中才能使患者在身心方面都达到治疗的最佳状态,鼓励和帮助患者克服治疗过程中的困难,完成治疗,这些是每个医务人员的职责。

由于我国目前对放射治疗技术员培养还有不少方面有待改进提高,但一些相关规定已经或即将进行,放射治疗技术员在工作到一定年限时,要参加上岗考试并获得上岗证书。之后,参加不同层次考试,由技士晋升为技师、主管技师、副主管技师等,主管技师以上的除了很好参与和执行放射治疗实施外,应当参与一定的教学和科研工作,除了带教低年技术员,还应能够带教进修的技术员。

## 第二章 放射治疗物理学基础

### 第一节 核物理基础

#### 一、基本物理量和单位

物理量用数字值(大小)和相应单位一起描述。目前使用公制单位系统为国际单位制,缩写为 SI。SI 系统基于七个基本物理量的基准单位:

长度:米 (m)

质量:千克 (kg)

时间:秒 (s)

电流:安培 (A)

温度:开尔文 (K)

物质的量:摩尔 (mol)

发光强度:烛光 (cd)

所有其他量和单位都源于这七个基本量和单位(表 1-2-1)。

表 1-2-1 基本及导出物理量在国际单位制及放射物理中的单位

物理量	符号	SI 单位	放射物理中使用的单位	换算关系
长度	$l$	m	nm, fm	$1\text{m}=10^9\text{nm}=10^{15}\text{fm}$
质量	$m$	kg	$\text{MeV}/c^2$	$1\text{MeV}/c^2=1.78\times 10^{-30}\text{kg}$
时间	$t$	s	ms, $\mu\text{s}$ , ns, ps	$1\text{s}=10^3\text{ms}=10^6\mu\text{s}=10^9\text{ns}=10^{12}\text{ps}$
电流	$I$	A	mA, $\mu\text{A}$ , nA, pA	$1\text{A}=10^3\text{mA}=10^6\mu\text{A}=10^9\text{nA}$
电荷	$Q$	C	$e$	$1e=1.602\times 10^{-19}\text{C}$
力	$F$	N		$1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
动量	$p$	$\text{N}\cdot\text{s}$		$1\text{N}\cdot\text{s}=1\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
动能	$E$	J	eV, keV, MeV	$1\text{eV}=1.602\times 10^{-19}\text{J}=10^{-3}\text{keV}$



## 二、原子结构

物质由分子和原子构成。分子由原子组成。目前已知的原子(也称元素)有 109 种。原子又有着它自己的结构。了解原子的结构对于我们认识放射线的产生及与物质的相互作用是十分必要的,因为这些过程都发生在原子的范围内。

原子由原子核和核外电子组成。原子核带正电,位于原子中心。核外电子带负电,围绕在原子核外。原子的直径约为  $10^{-8}$  cm。原子核的直径约为  $10^{-12}$  cm,但集中了几乎整个原子的质量。原子核又由质子和中子组成。中子和质子统称为核子,它们的质量近似相等,为一个原子质量单位。质子带正电荷,中子不带电。电子质量约为  $1/1840$  个原子质量单位,且带负电。一个原子内的正负电荷数量相等,故呈中性。原子可以用三个量按  ${}^A_Z X$  符号表示。其中, X 为原子种类符号; Z 为原子序数,即核内质子数或核外电子数; A 为原子的质量数,即核内的质子数和中子数之总和。显然,核内中子数应等于  $A-Z$ 。另外,因原子呈中性,核外电子数应等于 Z。在 A 与 Z 之间没有根本关系,但稳定核有符合较好的经验关系式。对所有元素  $(Z/A) \approx 0.5$ ,值得注意的例外是氢,  $(Z/A) = 1$ 。实际上,  $(Z/A)$  从低 Z 元素的 0.5 逐渐减小到高 Z 元素的 0.4。核外电子分布于不同的壳层。每壳层中电子数目遵从  $2n^2$  规律,其中 n 为从内层到外层的壳层数,并习惯称为 K、L、M、N、O……层。从内层起,每壳层中的电子数分别为 2、8、18、32……

## 三、原子能级

原子根据核外电子所处的不同壳层状态而呈不同的能量级别,即不同壳层的电子有不同的结合能。结合能是核外电子在原子系统库仑场中所具有的势能。习惯上规定当电子与原子核相距无穷远时,这种势能为零,故原子核外壳层的电子势能为负值,即该电子与原子核的结合能为负值,例如某种元素 K 层电子结合能为一 70keV。要想将某壳层的电子逐除原子外,至少必须克服该电子与原子核的结合能。例如将 K 层电子逐除于原子外,原子需接受外界至少 70keV 的能量。内壳层电子被逐除而出现空穴,此时外层(更高能级)上的电子马上填补该内壳层上的空穴,并将多余的能量释放。释放的能量以光子的形式表现,称为特征辐射,因为这种辐射光子的波长是恒定的,为两电子轨道的能级差,这个能级差对特定的原子也是特定的。如对某种原子, L 层电子填补入 K 层,则将释放能量为 70~53keV 的  $\gamma$  光子,相应于这种辐射称为 K 辐射。同样存在 L 层电子的逐除,有 M、N、O 等层电子向它填补所产生的 L 辐射。余依此类推。

## 四、核结构与能级

质子和中子通常称为核子,在强相互作用力下组成原子核。与静电作用和万有引力不同,两个核子间强力作用距离非常短,大约几个飞米数量级,且反比于两个粒子间距离的平方。在如此短的距离内,强力起支配作用,超过其他作用强度几个数量级。原子核中每个核子结合能随核子数而逐渐改变,数量级为  $\sim 8\text{MeV}/\text{核子}$ ,在  $A \approx 60$  出现最大值  $8.7\text{MeV}/\text{核子}$ 。原子核半径 r 近似为  $r = r_0 \sqrt[3]{A}$ 。其中,  $r_0$  是假定等于电子经典半径  $r_e$  一半的常数( $\sim 1.4$  飞米)。

原子核内核子(质子、中子)间的相互作用,使原子核具有一定的状态。如受外界能量的激发,原子核的能级状态将按一定的规律发生变化。当原子核由激发态返回基态时,便释放  $\gamma$  光子,此种光子称为轫致辐射。轫致辐射可由一次跃迁完成,也可由多次跃迁来完成。

由于微观粒子能量很小,能量单位通常不是以国际单位制(SI)单位焦耳(J)表示,而是采用电子伏特(eV)或千电子伏特(keV)或兆电子伏特(MeV)。1 个电子伏特是一个电子在真空

中通过 1 伏特电位差所获得的动能。这四个单位的转换关系是：

$$1\text{eV}=1.0\times 10^{-3}\text{keV}=1.0\times 10^{-6}\text{MeV}=1.602\ 192\times 10^{-19}\text{J}$$

## 五、基本粒子和基本作用力

目前已知两类基本粒子是夸克和轻子。

夸克是参与强相互作用的粒子，它们构成强子（质子和中子），具有分数电荷（ $2/3$  或  $-1/3$ ），拥有三种被称为“色”的强电荷特性中的一种：红色、绿色和蓝色。目前已知六种夸克：上夸克、下夸克、奇夸克、粲夸克、顶夸克和底夸克。

轻子是不参与强相互作用的粒子，包括电子（ $e$ ）、介子（ $\mu$ ）、 $\tau$ （ $\tau$ ）和对应的中微子（ $\nu_e$ 、 $\nu_\mu$ 、 $\nu_\tau$ ）。

各类粒子间相互作用存在四种不同类型的力（表 1-2-2）。作用强度数量级以从大到小的顺序分别是强力、电磁力（EM）、弱力和引力，相对强度分别是 1、 $1/137$ 、 $10^{-6}$  和  $10^{-39}$ 。

表 1-2-2 自然界中四种基本作用力

作用力	来源	交换粒子	相对强度
强相互作用	强电荷	胶子	1
电磁作用	电荷	光子	$1/137$
弱相互作用	弱电荷	W 和 $Z^0$	$10^{-6}$
引力	能量	引力子	$10^{-39}$

## 六、辐射分类

辐射按电离物质的能力可分为非电离辐射和电离辐射（图 1-2-1）。原子的电离能量（即电离一个原子所需最小能量）从几个 eV 到 24.5eV。

非电离辐射不能电离物质。电离辐射能直接或间接电离物质。直接电离辐射（带电粒子）包括电子、质子、 $\alpha$  粒子和重粒子。间接电离辐射（中性粒子）包括光子（X 射线和  $\gamma$  射线）、中子。直接电离辐射通过正在电离的带电粒子和介质中原子轨道电子间直接进行库仑相互作用，将能量沉积在介质中。间接电离辐射（光子或中子）先在介质中释放出带电粒子，释放的带电粒子再通过与介质中原子的轨道电子直接进行库仑相互作用将能量沉积在介质中。

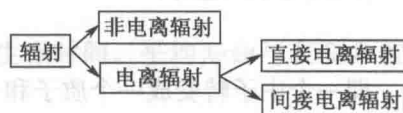


图 1-2-1 辐射分类

直接和间接电离辐射都可用于疾病治疗，但不仅仅针对恶性疾病。疾病治疗中采用放射的医学分支称为放射治疗、治疗放射学或放射肿瘤学。放射诊断学和核医学是采用电离辐射进行疾病诊断的医学分支。

## 七、质能关系式

质量和能量都是物质的基本属性。质量和能量是可以相互转变的，即物体的质量发生变化时，其能量也发生相应改变，反之亦然。

质量和能量的关系是：

$$E=m \cdot c^2 \quad (1-2-1)$$



质量变化和能量相应的改变之间的关系是：

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 \quad (1-2-2)$$

式中  $E$  为物体的能量,单位为焦耳, $\Delta E$  为能量相应的改变; $m$  为物体的质量,单位为千克, $\Delta m$  为物体的质量变化; $c$  为光速,其值为  $3.0 \times 10^8$  m/s。

例如,具有一定能量而无静止质量的光子,可以转换为具有一定质量的正负电子对。

爱因斯坦的相对论指出,运动物体的质量  $m$  随其运动速度  $V$  的变化而变化。当速度为零时,该物质的质量称为静止质量  $m_0$ 。物体的质量随它的运动速度增大而增大。任何物体的运动速度不可能超过真空中的光速。

## 八、放射性核素

放射性核素是一类元素,这类元素有着相同的核电荷数(或电子数)和不同的质量数。实际上放射性核素主要是核内中子数不相同。

放射性是指不稳定原子核转变成更稳定结构的特性,这个过程也称为放射性衰变。不稳定的放射性核素具有放射性。新结构也可能不稳定,再进行衰变,直到形成稳定的原子核结构。

随着原子序数的增加,元素的放射性核素越多。例如, ${}_{27}^{59}\text{Co}$  有 8 个放射性核素,分别是  ${}_{27}^{54}\text{Co}$ 、 ${}_{27}^{55}\text{Co}$ 、 ${}_{27}^{56}\text{Co}$ 、 ${}_{27}^{57}\text{Co}$ 、 ${}_{27}^{58}\text{Co}$ 、 ${}_{27}^{60}\text{Co}$ 、 ${}_{27}^{61}\text{Co}$  和  ${}_{27}^{62}\text{Co}$ ,其中仅  ${}_{27}^{59}\text{Co}$  是稳定的,其余都具有放射性。这些放射性核素都要通过不同的方式衰变成稳定放射性核素。

衰变是放射性核素的一种属性。衰变必然伴随有放射。放射性核素衰变主要有  $\alpha$  衰变、 $\beta$  衰变( $\beta^-$  和  $\beta^+$ )、电子捕获、 $\gamma$  衰变和内转换。

$\alpha$  衰变可描述为:



其中  ${}_{2}^4\text{He}(\alpha)$  是一个  ${}^4\text{He}$  核,也叫  $\alpha$  粒子。重核易发生  $\alpha$  衰变。 $\alpha$  衰变的一个例子是  ${}^{226}\text{Ra}$  衰变成  ${}^{222}\text{Rn}$ ,半衰期 1600 年。

$\beta^-$  衰变可描述为:



即一个中子转变成一个质子和一个电子  $\beta^-$ ,并从原子核中发射出反中微子  $\bar{\nu}$ 。带走部分能量。 $\beta^-$  衰变的一个例子是  ${}^{60}\text{Co}$  核素衰变到  ${}^{60}\text{Ni}$  激发态,半衰期为 5.26 年。

$\beta^+$  衰变可描述为:



即一个质子转变成一个中子和一个正电子  $\beta^+$ ,并从原子核中发射出中微子  $\nu$ 。带走部分能量。 $\beta^+$  衰变的一个例子是  ${}^{13}\text{N}$  衰变到  ${}^{13}\text{C}$ 。

电子捕获可描述为:



即原子核捕获一个自身的 K 层轨道电子,一个质子转变成一个中子并发射出一个中微子  $\nu_e$ 。电子捕获的一个例子是  ${}^{125}\text{I}$  衰变成  ${}^{125}\text{Te}$  激发态,后者通过  $\gamma$  衰变和内转换衰变到  ${}^{125}\text{Te}$  基态。K 壳层空穴被更高能级的轨道电子填充,跃迁能量以特征光子或俄歇电子形式从原子中释放。

$\gamma$  衰变可描述为:



$\gamma$  衰变一般由  $\beta^-$  或  $\beta^+$  衰变产生激发态的原子核  ${}_{Z}^AX^*$ ,通过发射一个或几个  $\gamma$  光子到达

基态 ${}^A_ZX$ 。 $\gamma$ 衰变的一个例子是由 ${}^{60}\text{Co}$ 进行 $\beta^-$ 衰变产生激发态的 ${}^{60}\text{Ni}^*$ ，通过发射能量分别为1.17MeV和1.33MeV的两个 $\gamma$ 射线，跃迁到稳定的 ${}^{60}\text{Ni}$ 。

内转换可描述为：



相比发射 $\gamma$ 光子，原子核更可能将跃迁能量传递给K壳层轨道电子而将其发射出，这个电子的动能等于跃迁能量减去轨道电子结合能。K壳层空穴被更高能级的轨道电子填充，跃迁能量以特征光子或俄歇电子形式放出。内转换的一个例子是由 ${}^{125}\text{I}$ 发生电子捕获，生成激发态的 ${}^{125}\text{Te}$ ，再通过发射35keV的 $\gamma$ 射线(7%)和内转换电子(93%)衰变到稳定的 ${}^{125}\text{Te}$ 。

放射性核素衰变到稳定状态时往往需要多次衰变才能完成，因此可能同时产生不同能量的 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 射线。例如， ${}^{60}\text{Co}$ 放射源既产生 $\beta$ 射线，又产生两种不同能量的 $\gamma$ 射线。

核素活化是指稳定放射性核素母核P被中子轰击，发生核反应，转变为放射性子核D，并衰变成第二代子核G：



## 九、指数衰变规律

放射性衰变服从指数衰变规律：

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1-2-10)$$

式中 $N_0$ 为衰变前的原子数； $N$ 为衰变到 $t$ 时刻的原子数； $t$ 为由原子数 $N_0$ 衰减到原子数 $N$ 的时间； $\lambda$ 为衰变常数，每种放射性核素的每一个衰变过程都有自己独特的 $\lambda$ 常数； $e$ 是自然对数的底，约等于2.718。

放射性核素的原子核数目衰减到原来数目一半所需要的时间称为放射性核素的半衰期( $T_{1/2}$ )。半衰期与衰变常数 $\lambda$ 的关系是：

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda \quad (1-2-11)$$

半衰期的单位是秒，也可用分钟、天、年等时间单位来表示。在经过 $n$ 个半衰期后，原子核数目衰减到初始值的 $(1/2)^n$ 。

放射性核素的平均寿命 $\tau$ 是指放射性原子核的平均生存时间。平均寿命与衰变常数的关系为：

$$\tau = 1 / \lambda = 1.44 T_{1/2} \quad (1-2-12)$$

放射性活度是一定量的放射性核素在一个很短的时间间隔内发生的核衰变数除以该时间间隔，即：

$$A = -dN/dt = \lambda N = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1-2-13)$$

式中 $A_0$ 和 $A$ 分别是初始时刻和 $t$ 时刻的放射源活度， $\lambda$ 为衰变常数。

活度的国际单位是贝可勒尔，简称贝可(Bq)，衍生单位有MBq、GBq和TBq。它们之间的关系是：

$$1 \text{ TBq} = 10^3 \text{ GBq} = 10^6 \text{ MBq} = 10^{12} \text{ Bq} \quad (1-2-14)$$

在此之前，放射性活度的单位是居里(Ci)，衍生单位有毫居里(mCi)、微居里( $\mu\text{Ci}$ )。它们的关系是：

$$1 \text{ Ci} = 10^3 \text{ mCi} = 10^6 \mu\text{Ci} \quad (1-2-15)$$

居里与贝可的关系是：

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq} \quad (1-2-16)$$