

# 东山再起的快中子治癌

奇 云

1920年,英国著名物理学家、核物理之父卢瑟福在研究原子核的过程中,提出了可能存在一种质量与质子相似但不带电的中性粒子的假设,这一预见为中子的发现敲响了第一声晨钟。

1932年初,约里奥·居里夫妇在实验中拍摄到一张云室照片,随即发表在某刊物上,这张照片清楚地记录了中子从含氢蜡片中打出反冲质子的径迹。但是居里夫妇竟然和这位人们期待了十多年的来客擦肩而过,错误地解释为高能 $\gamma$ 射线在氢核上的康普顿散射。一个多月后,卢瑟福的学生、英国物理学家查德威克应用能量守恒和动量守恒的概念,证实了打击反冲质子的并不是高能 $\gamma$ 射线,而是一个质量非常接近于质子的中性粒子,并被命名为“中子”。为此,查德威克获得了1935年的诺贝尔物理学奖。

中子的发现引起了核物理和核技术的一连串飞速发展,它迅速地被广泛应用于工农业生产和国民经济建设的各个领域,也被应用于医学,特别是癌症的治疗。美国物理学家劳伦斯于1931年发明了回旋加速器,利用它可以产生能量足够高的快中子。1936年,由他提出利用快中子治癌的建议。1937—1940年,加州伯克利的罗伯特·斯通在美国加利福尼亚贝克莱的回旋加速器上进行快中子治癌试验,先后使用了37英寸(1英寸=2.54厘米)和60英寸的回旋加速器,通过加速氘核——“重氢”打击铍靶,释放出中子,斯通用这种方法获得了能量分别为4—7百万电子伏特的高能中子流,在组织中的穿透深度相当于200—240千电子伏特的X射线。并立即将其用于人体癌症治疗。几年间共收治了249个病人,治疗结果发现肿瘤消退迅速。一时间人们欢呼雀跃,认为已经找到了彻底摧毁癌症的神秘武器。然而,却料不到铸成大错。主要原因是一开始人们对快中子的剂量学和放射性物理学很不了解,还吃不准用于人体组织的合适剂量应为多少,给予病人的剂量大大超过了所需的程度。致使被治疗病人的远期放射性反应很严重,主要表现在皮肤的放射性烧伤和皮下组织纤维化。因此,中子治疗声誉大为受损。加之二次大战后,伯克利的科学家转而将中子和回旋加速器用于战争,基本上中断了中子治疗癌症的努力。

随着放射生物学研究的进展,英国有人重新考查

了1937—1940年期间的治疗病例,发现快中子治癌还是比X射线、 $\gamma$ 射线和 $\beta$ 射线好。只是由于当时剂量用得太大,每次照射的时间间隔不合适以及照射技术上存在的一些问题,才出现了严重的远期放射反应。于是,1959年在英国医学研究委员会的大力资助下又重整旗鼓,继续开展这项实验研究。伦敦的海默斯密斯医院安置了第一台纯粹用于医学研究的回旋加速器。截止1970年,研究人员已经获得了足够多的有关中子对不同组织的效应等方面的资料,并已开始临床试用了。自那时候起,全世界已有几十个中子治疗中心相继问世。

就表面情况来看,中子治癌似乎类同于X射线疗法。这两种疗法都是高能电中性辐射束进入人体内破坏细胞,进而摧毁组织(癌细胞和正常细胞同时受杀伤)。当然,目标是在杀灭癌细胞的同时,尽可能少地损伤正常细胞。但是中子与X射线对人体的作用的方式是不同的。正是这种不同,使中子疗法具有一些独特的优点。

X射线和中子杀死细胞的方式都取决于放射线的性能和剂量。两种放射疗法中的任何一种,若剂量过大,都可有效地阻断细胞的代谢,进而彻底摧毁细胞。反之,若剂量过低,就不足以影响细胞的活性,但也能使其分裂能力受损。众所周知,癌细胞就是以繁殖能力快为其特征之一,因此破坏其分裂能力无疑具有重要意义。细胞分裂的关键是DNA,破坏了DNA,就破坏了细胞的增殖能力。破坏DNA有两条基本途径:①直接断裂原子;②间接地通过自由基的化学反应。

绝大部分细胞均含有约80%的水分。氢氧根对DNA的损伤可能起着重要作用。譬如,氢氧根能依附于DNA分子,产生一种瞬时自由基,这种自由基又与氧作用生成过氧基,这是问题的关键:在这一点,不会发生反向作用,不可逆变化的过程随之开始。氢氧根亦是一种有效的氢结合基,将氢从糖化合物中析出,可导致DNA链断裂。然而,即使化学变化是不可逆的,但损伤本身是可逆的。如用酶切割DNA链上某一段已遭损伤的部分,用一种新材料制成的片断来取代。这种片断是以完整的DNA链为样本制成。大多数这类间接损伤均可由此法修复。

与X射线成强烈对比的是：中子是一种“笨重”的粒子，至少属于亚原子级。中子的质量2000倍于电子。中子的大小可测量。除氢原子外，中子与质子一起存在于所有原子的核中。

虽然中子本身对细胞不造成威胁，但中子放射所至对人体组织细胞的直接损伤较X射线为甚。中子能与一般有机物组织中的氢原子所独有的质子相碰撞，并将这些质子推向前进中子也可能被重核俘获，这时它就趋于不稳定态，继而放出 $\gamma$ 射线和 $\alpha$ 粒子。正是这些原子、 $\alpha$ 粒子和反冲核损伤了细胞。由于它们的质量远远大于电子，其运动速度就相应缓慢。这样在很短的区域内就能电离众多的原子。当 $\alpha$ 粒子或质子靠近DNA分子，甚至仅当 $\alpha$ 粒子等经过DNA分子时，都可能电离众多的原子，造成不可逆转的破坏，以致DNA功能丧失，因而也就达到了杀死癌细胞、防止癌细胞扩散的目的。

由此可见中子易与单个质子作用，即中子易与氢核作用。富含氢的物质从中子中获取的能量较其他物质为多。人体的软组织含有大量的水分，因此氢含量也相当充裕。而人体硬组织（如骨）就缺乏这种条件，这意味着中子可以扎根于肿瘤的空穴处，而不损伤表面骨结构。而X射线更多地是被原子序数高的物质所吸收。中子也能攻击X射线难以对付的癌细胞。这是因为所有的细胞在其休眠阶段都对X射线有很高的耐受性。这往往导致了恶性癌细胞幸免生存而最终酿成肿瘤生存。特别是那些生长缓慢的肿瘤，其大部分细胞都处于休眠状态，X射线的疗效更不理想。相对比较，中子对癌细胞的攻击就更为强烈。

此外，在许多肿瘤的中心部位有“缺氧细胞”，这种细胞能在缺氧的状态下生存、增殖。X射线对缺氧细胞的攻击构不成对它的威胁，原因是X射线须与氧一起才能发挥作用。为了解决这个问题，以往采取的是外界给氧，如治疗中让病人吸氧或让病人躺在高压氧舱中以提高血液或组织中的氧分压。从而提高缺氧细胞对放射线的敏感性，但这一方法收效甚微。而快中子在这方面又较X射线为优，它对缺氧细胞的攻击能力是X射线的两倍。已有证据表明，中子能有效地治

疗某些“耐辐射”肿瘤。如：腺癌对辐射有抗性、肉瘤对辐射也有抗性，而若采用中子放疗法，则这些耐辐射肿瘤中的70%都能得到局部控制。

就实际情况而言，要成为一种常规而有效的治病工具，中子疗法还有许多亟待解决的实际问题。首先是配备大型、价格昂贵的加速器以产生辐射流，这对于一般中小型医院来说是难以办到的；其次是要使中子疗法取得效果，必须使所产生的中子流具有较高的能量。治疗深部恶性肿瘤时中子能量应在10兆电子伏特以上，最好在30兆电子伏特以上。其三病人每次照射的时间不宜过长，一般最好少于5分钟，否则病人难于坚持自己位置的准确性。如果一次照射的剂量以100拉德计，那么它的剂量率不应低于20拉德/分，再考虑到中子束被准直、过滤等的损失在内，剂量应在40拉德/分以上。

此外，中子束的源面积应尽可能小，以减少半影区；对中子束内的 $\gamma$ 线污染应控制在最低水平；机头的防护应考虑漏射量在1%以下，以保证正常组织；更重要的是装置应尽可能轻巧灵活、便于调节，并且射线的射出不限于水平方向，而能给出各种不同的角度，以适应治疗不同的部位。

针对上述问题，英、美等国已经研制或正在研制新型的医疗专用加速器。现今美国已有三台经改进的新型加速器，英国一家医院建造的加速器可将质子加速到62.5兆电子伏特，打击靶产生30—40兆电子伏特的中子，这种能量的中子流，足以对付体内深部肿瘤。据《今日美国》报道，美国国立癌症研究所最近正在研究用硼中子俘获疗法治疗癌症。该疗法的过程是：先向病人体内注射只被癌细胞吸收的硼化合物，然后用快中子束来照射肿瘤，在肿瘤内引发核反应，杀伤癌细胞。美国亚特兰一家大公司已经获准生产一种硼化合物，临床试验将在3年内开始。用于实际的临床治疗，也许要花更长的时间。

目前，尽管快中子治癌还处于试验阶段，但作为一种有前途的治疗方法，无疑将会在未来的癌症治疗中发挥出重要的作用。

## 名 词 解 释

康普顿散射短波长电磁辐射(如X射线、 $\gamma$ 射线)射入物质而被散射后，在散射波中，除了原波长的波之外，还出现波长增大的波。散射物的原子序数愈大，散射波中波长增大部分的强度和原波长部分的强度之比就愈小。这种现象是美国物理学家康普顿在1922—1923年发现的，故称为康普顿散射，以区别一般的散

射。

DNA即deoxyribonucleic acid，脱氧核糖核酸。核酸(简写：DNA)在绝大多数有机体中构成遗传物质并且是由基因组成，和组蛋白一起形成高等生物的染色体。DNA是一个多核苷酸，以它的2-脱氧-D-核糖和嘧啶、腺嘧啶、胸腺嘧啶的含量表示它的特性。