

· 讲座 ·

乳腺癌诊治及随访过程中过度 CT 扫描可能带来风险

汪洋¹ 刘锦平² 吕青³

【摘要】 低剂量电离辐射的致癌效应是医源性 X 射线的主要潜在危害。乳腺等器官对电离辐射十分敏感,CT 扫描所致的 X 射线吸收剂量远高于 X 线胸片,过度 CT 扫描会增加乳腺癌高危个体的额外致癌风险。学者们已关注到包括 CT 扫描在内的医源性电离辐射给乳腺癌高危人群带来的致癌风险。了解过度 CT 扫描对乳腺癌患者的潜在风险,将有利于消除临床医师的认识误区,利于其谨慎决策 CT 扫描,以免给乳腺癌患者及高危人群带来额外的致癌风险。

【关键词】 体层摄影术; X 线计算机; 乳腺肿瘤

【中图法分类号】 R812; R737.9

【文献标志码】 A

低剂量(100 mSv 以下)X 射线具有致癌风险^[1]。CT 扫描所致人体接受的 X 射线有效剂量也在这个范围内,其潜在致癌风险已引起学者们的关注。CT 扫描并不是乳腺癌诊治及随访的常规检查手段。中国抗癌协会乳腺癌专业委员会制定的《中国抗癌协会乳腺癌临床诊治指南与规范》,仅在“乳腺癌局部和区域淋巴结复发”及“骨转移”部分明确提出了行 CT 扫描的建议,并在康复治疗共识部分指出,“骨扫描、CT 或 MRI 等可用于有症状的患者,但不推荐无症状患者常规应用”^[2]。2012 年 ASCO 乳腺癌生存者随访诊疗指南指出,包括胸部 X 线诊断、腹部超声、血清肿瘤标志物检测、骨扫描、MRI 等加强型随访,很少能够检查出无可疑症状的复发或转移,在临床上并未给患者带来生存益处,故不推荐将 CT 扫描、骨扫描、MRI 等作为乳腺癌患者常规随访项目^[3]。然而,实际情况是有不少乳腺癌患者在诊断和随访过程中(尤其是治疗后的第 1~3 年内),会被“理所当然”地给予常规 CT 扫描,而且有部分地方是在较短的时间内重复多次(如每 3~4 个月接受 1 次)多部位的例行 CT 扫描,其中还包括早期乳腺癌患者。这反映出医师可能对过度 CT 扫描所致 X 射线的致癌风险认识不足,给本处于康复过程的乳腺癌患者(尤其是早期患者)带来额外的医源性 X 射线致癌风险。本文将阐述对这一问题的理解和反思。

一、CT 扫描的致癌风险已引起关注

在过去 25 年里,CT 扫描的使用在英国增长了 12 倍,在美国增长超过 20 倍^[4]。中国虽未见发表具体的数据,但增长趋势类似。在英国,CT 扫描对公众医疗照射集体剂量的贡献率已达到 47% 以上^[5]。由于 CT 扫描的技术特性,其所致人体 X 射线剂量远远高于普通 X 射线检查。CT 扫描给患者带来获益的同时,也把患者暴露在具有致癌作用的电离辐射中。

美国医学研究所(Institute of Medicine, IOM)认为,电离辐射对乳腺癌发展的促进作用超过任何其他已知的环境暴露^[6]。2007 年美国所进行的 CT 扫描可能会在未来额外导致多达 29 000 例的癌症患者,其中 6% 为乳腺癌,其他的为肺、脑等器官的癌症^[7]。2007 年国际辐射防护委员会(International Commission on Radiological Protection, ICRP)发表了第 102 号出版物《多层探测器计算机 X 线断层摄影患者剂量控制》^[8]。可见,CT 扫描可能带来的风险已受到关注。

二、CT 扫描的辐射剂量

1. 单次 CT 扫描所致人体 X 射线的有效剂量

有关 CT 扫描的有效剂量估值,国内外文献报道不尽相同。国际原子能机构(International Atomic Energy Agency, IAEA)的研究结果显示:单次 CT 扫描的 X 射线平均有效剂量,头部为 1.2 mSv,胸部为 5.9 mSv,腹部为 8.2 mSv^[9]。高峰等^[10]对上海市 500 例成年受检者 CT 扫描的 X 射线有效剂量进行研究后发现,头颅、胸部和腹部 X 射线有效剂量分别为 1.4、5.3、7.5 mSv。联合国原子辐射效应科学委员会(United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR)2000 年官方报告显示,来自 9 个国家统计的单次 CT 扫描平均有效剂量头部为 2 mSv,胸部为 10.4 mSv、腰椎为 5 mSv^[11]。这些数据可用来计算集体剂量,并推算出 CT 扫描所致集体剂量可能超过全部放射学检查的 50%。Cohnen 等^[12]研究了多层 CT 扫描在不同扫描条件和不同部位的有效剂量,结果颈部为 2.8 mSv,胸部为 7.5~12.9 mSv,腹部为 12.4~16.1 mSv,脊椎为 12.0 mSv。

2. 多次 CT 扫描导致患者接受更大剂量的 X 射线

上述研究还未考虑同一患者多次进行 CT 检查和多时相 CT 增强扫描所接受的 X 射线剂量,它会对同一患者产生剂量累积效应^[13]。国外文献报道,约 30% 住院患者曾接受至少 3 次以上 CT 扫描^[14]。还有分析性研究显示,至少 1/3 的 CT 扫描是不必要的,这些 CT 检查本可由 MRI 代替^[15-16]。笔者随访发现,一些医疗机构的乳腺癌患者术后 1~3 年内 CT 扫描往往会重复多次,个别机构还要求乳腺癌术后随访患者每 3~4 个月进行 1 次多部位的 CT 扫描。因此,即使早期乳腺癌患者,在术后 2~3 年内也可能接受 CT 扫描多达

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-0807.2016.01.012

作者单位:610041 成都,四川省疾病预防控制中心健康教育所¹; 610072 成都,四川省人民医院乳腺外科²; 610041 成都,四川大学华西医院乳腺外科³

通信作者:吕青,Email: lq1963@163.com

8 次以上。根据 Cohnen 等^[12]的数据推算,如果某一患者接受过 8 次胸部 CT 扫描,理论上她所接受的 X 射线有效剂量就达 60 ~ 103.2 mSv,相当于给同一患者拍摄了 600 ~ 1 030 张 X 线胸片。对于该患者接受的 X 射线剂量绝对不能被忽视。如果同一患者还要做其他部位 CT 扫描/增强 CT 扫描或骨扫描等,那所接受的 X 射线剂量就更高。乳腺、甲状腺和肺等器官本身对 X 射线均非常敏感,它们又都在胸部 CT 扫描的影响范围之内。

三、CT 扫描的致癌风险

1. 低剂量电离辐射的生物效应

根据 UNSCEAR 的报告,将 100 mSv 或以下的剂量定义为低剂量电离辐射范围^[17]。美国国家研究理事会(National Research Council, NRC)电离辐射生物学效应(Biological Effects of Ionizing Radiation, BEIR)小组 2006 年发布的报告也定义低剂量电离辐射的范围是 100 mSv 以下^[1];其 BEIR VII 模型是在美国占有主导地位的电离辐射风险评估模型,假设电离辐射暴露不存在安全水平,致癌作用遵循线性剂量原则,这意味着即使很小的暴露剂量也存在致癌风险。常规 CT 扫描的 X 射线剂量即在此范围内。

UNSCEAR 于 2012 年发布的《低剂量辐射行为的生物学机制白皮书》^[13],详细阐述了低剂量辐射所致生物学效应及其机制,包括基因稳定性、旁观者效应和伴随远隔效应、适应反应、活性氧代谢与线粒体功能、DNA 序列分析与基因多态性影响、基因与蛋白表达、细胞相互作用与组织水平现象、生物学系统评估等,旨在找到评估低剂量电离辐射对人类健康影响的方法。

电离辐射对人体的生物学效应分为随机效应和确定效应。随机效应包括致癌作用和基因突变,它不依赖于电离辐射剂量的大小,很难确定随机效应的精确阈值;确定效应是指某种损害依赖于电离辐射剂量,低于某一阈值时其损害程度可以计为 0,高于该阈值后的损害程度与剂量呈正比关系^[1,11]。

低剂量 X 射线可引起 DNA 双链或染色单体断裂或损害底物,也可直接对 DNA 产生电离作用。DNA 双链断裂不易修复,且偶发的修复错误可引起点突变、染色体易位、基因融合,这些效应均与癌症的发生有关^[18]。根据 ICRP 标准,电离辐射致癌总危险度为 $5.5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ ^[19],而多次 CT 扫描所致 X 射线吸收剂量即在此范围内^[10]。由于电离辐射所致人体有效剂量及效应是累积性的,故多次 CT 扫描所致人体 X 射线吸收剂量的潜在致癌风险是客观存在的。

2. 低剂量电离辐射的致癌风险

低剂量电离辐射流行病学关注的主要是辐射敏感器官所发生的癌症,如白血病、乳腺癌、甲状腺癌和肺癌等。2005 年美国首次将电离辐射(X 射线、 γ 射线、中子)列为新增的 17 种致癌物之一^[20]。

日本原子弹爆炸幸存者中,接受低剂量(5 ~ 150 mSv)辐射亚群的癌症风险显著提高,此亚群受照射的平均有效剂量是 40 mSv,大约相当于成人 2 ~ 3 次标准 CT 扫描的器官有效剂量^[21]。Shiminu 等^[22]根据 75 991 名原子弹爆炸幸存者在 1950—1985 年间的癌症病死率计算了不同癌症的风险,平均

器官吸收剂量在 211 ~ 242 mGy 之间,统计的 10 类器官癌症 RR 值均 > 1,其中女性乳腺癌 RR 值为 2.19 (90% CI: 1.56 ~ 3.09)。Howe 等^[23]对加拿大 31 917 例患者进行了乳腺癌病死率随访研究:随访对象在 1930—1952 年间曾接受多次 X 射线检查,致乳腺总辐射有效剂量范围为 0 ~ 18 400 mSv,平均值为 890 mSv;随访时间为 1950—1987 年,其中有效剂量低于 500 mSv 者占 76%,观察到 688 例乳腺癌患者死亡;结果显示,X 射线剂量与乳腺癌风险具有很强的线性关系($P < 0.0001$)。研究基于吸收剂量(D)、照射年龄(A)可得到一个简单的额外相对危险度的评估值: $RR(D) = 1.00 + 0.52D \exp[-0.10(A-15)]$ 。该模型可用于预测常规乳腺 X 射线检查所致辐射剂量与乳腺癌病死率的终生额外相对风险。Cardis 等^[24]对 15 个国家的 407 391 名核工业人员进行了大规模随访研究,这些人群的平均照射剂量约 20 mSv(相当于 1 ~ 2 次标准 CT 扫描所致辐射剂量),剂量和癌症病死率之间显著相关(接受 5 ~ 150 mSv 照射剂量工人的癌症危险度显著增高),其中 1% ~ 2% 的癌症死亡与额外照射有关。

王继先等^[25]分析了中国 24 个省市自治区 1950—1995 年间在职的 27 011 名医用 X 射线工作者与同期 25 782 名非放射科医务人员于 1950—1995 年间发生恶性肿瘤的资料,用回顾剂量学方法估算其累积受照剂量,并据此评价癌症风险。结果表明,X 射线工作者癌症发生率显著高于对照组($RR = 1.2$, 95% CI: 1.1 ~ 1.3, $P < 0.01$),危险度明显增加的是白血病、皮肤癌、女性乳腺癌、肺癌等,RR 值分别为 2.2、4.1、1.3、1.2。白血病、皮肤癌、女性乳腺癌(可能还有甲状腺癌)的 RR 值与从事职业 X 射线工作年限、年龄、累积剂量等相关。

Brenner 等^[26]通过原子弹幸存者研究数据来评估 CT 扫描所致特定器官的剂量、癌症风险及病死率,发现:2 ~ 3 次典型 CT 扫描所致的器官有效剂量(30 ~ 90 mSv)即可使被照射者的癌症风险显著增加,无论在成年人还是儿童中,相关证据都非常令人信服;根据 CT 使用数据,美国 1991—1996 年约有 0.4% 的癌症归因于 CT 扫描,但随着 CT 数量和扫描人群的快速增加,2006 年这个估计值是 1.5% ~ 2.0%,10 年间增加了 4 ~ 5 倍。

3. 低剂量电离辐射与乳腺癌风险

Ronckers 等^[27]对电离辐射与乳腺癌风险证据的系统分析发现,电离辐射是乳腺癌的一个危险因素,并且这种风险随着剂量的增加而呈线性增加。乳腺对电离辐射的致癌作用非常敏感,尤其是年轻女性。现有流行病学数据支持线性剂量反应关系低至 100 mSv 以下^[27]。

Boice 等^[28]对多次行胸部 X 射线检查的肺结核患者、行放射治疗的乳腺癌患者以及原子弹爆炸幸存者进行流行病学调查,结果显示:各年龄段研究对象罹患乳腺癌的风险均明显增高,且青少年期接受电离辐射者的风险最大,剂量反应与乳腺癌风险呈线性相关关系;日本原子弹爆炸幸存者乳腺癌发病风险与接受的辐射剂量呈线性关系,剂量为 1 000 mSv 时 $RR = 1.59$ (95% CI: 1.09 ~ 2.19),是电离辐射所致各种实体瘤风险中最高的。初始接受照射时的年龄对剂量效应有明显的影响,10 岁前接受照射者罹患乳腺癌的风险是 40 岁

以上接受照射者的5倍^[22]。

医用X射线可能显著增加携带BRCA1/2突变个体的乳腺癌风险,也值得关注。一项在法国、英国和荷兰开展的大型研究(GENE-RAD-RISK),对1993名女性BRCA1/2突变携带者进行了回顾性队列研究,旨在评估其发生X射线诊断相关的乳腺癌风险^[29]。结果显示:BRCA1/2突变携带者,在30岁之前的任何医学X射线诊断(如透视、胸部/肩部传统摄影、乳腺X射线检查、胸部/肩部CT扫描和骨扫描等)都会增加罹患乳腺癌的风险($RR=1.90, 95\% CI: 1.20 \sim 3.00$),与剂量反应模式一致;值得注意的是,30岁之前的乳腺X射线胸片检查史,也会增加罹患乳腺癌的风险($RR=1.43, 95\% CI: 0.85 \sim 1.43$),而且灵敏度分析表明,乳腺癌家族史对这一结果没有干扰。该研究还发现,与30岁之前未接受过任何X射线照射的对照组相比,30岁前接受累积剂量超过17.4 mGy(约2次胸部CT扫描所致照射剂量)X射线诊断的观察对象,其罹患乳腺癌的风险几乎增加4倍($RR=3.84, 95\% CI: 1.67 \sim 8.79$);尚无证据表明30~40岁组接受医用X射线照射与乳腺癌风险增高有关,但研究者认为是由于观察时间不足所致。这项研究结果支持使用非电离辐射技术(如MRI)作为30岁前女性BRCA1/2突变携带者的主要检查手段。

Wang等^[30]的病例对照研究纳入了515例散发性乳腺癌患者(年龄 ≤ 55 岁)和402例正常女性,她们的淋巴细胞被短期培养后经¹³⁷Cs源给予1500 mGy照射,然后检测染色单体断裂频率。结果表明:乳腺癌组染色单体断裂频率显著高于正常对照组,差异有统计学意义;非西班牙裔白人乳腺癌患者和墨西哥裔美国人乳腺癌患者的辐射敏感度与乳腺癌风险显著关联($P<0.001$)。因此,研究者认为,电离辐射所致的染色单体断裂可增加人体对乳腺癌易感性。

Jansen-van der Weide等^[31]对具有家族性或遗传性乳腺癌风险女性低剂量X射线照射与乳腺癌风险的关系进行了meta分析,结果显示低剂量电离辐射暴露导致高危女性罹患乳腺癌的风险显著增加($OR=1.3, 95\% CI: 1.3 \sim 1.8$)。20岁前有低剂量X射线照射($OR=2.0, 95\% CI: 1.3 \sim 3.1$)或有5次以上低剂量X射线照射($OR=1.8, 95\% CI: 1.1 \sim 3.0$),与X射线诱发的乳腺癌风险增高显著相关。研究者认为,低剂量X射线显著增加了高危女性罹患乳腺癌的风险,应谨慎决策乳腺癌高危女性(尤其是年轻女性)的X射线诊断并减少重复检查,合理使用非电离辐射检查技术。

尽管女性乳腺X射线定期检查被普遍采用,但Yaffe等^[32]的研究推测,在一个100万女性的队列中,如果每次双乳接受X射线检查的剂量是3.7 mGy,40~55岁每年接受1次检查,之后每2年接受1次检查直到75岁,预计她们当中有86例会发生电离辐射诱导的乳腺癌,并且11例死于电离辐射诱导的乳腺癌。Modan等^[33]对受到头皮辐照的儿童进行长期随访后发现,5~9岁女性儿童如果暴露于低至16 mGy的低剂量电离辐射后(比1次常规CT扫描所致吸收剂量还低),乳腺癌风险显著增加。

四、针对乳腺癌患者的CT扫描对策探讨

低剂量X射线的生物效应还存在争议,致使人们对其潜

在的致癌风险认识不足,超过70%的患者低估了CT扫描的X射线剂量,并对X射线的致癌风险缺乏了解^[34]。只有约7%的患者在CT扫描前被告知风险和益处,而53%的放射科医师和91%的急诊科医师不相信CT扫描会增加癌症风险^[35]。

乳腺癌患者康复过程中,过度CT扫描客观存在。临床医师需要反思的是,由于诊疗体系与技术的不断进步和规范,乳腺癌患者的生存期越来越长,低剂量X射线的致癌效应可能随着时间的推移而逐渐暴露出来。对于日益增多的乳腺癌患者这一特殊人群(特别是早期乳腺癌患者),如果忽视过度CT扫描带来的额外致癌风险,可能部分抵消现代乳腺癌规范治疗给患者带来的获益。临床医师应对特定乳腺癌高危人群(康复中的乳腺癌患者也是高危人群)进行保护,慎重决策CT扫描,不仅可以避免X射线给患者带来的潜在致癌风险,而且还可以减轻患者的经济负担。

如何定义“过度CT扫描”目前还没有行业共识,但考虑到低剂量电离辐射的致癌效应、剂量累积效应以及乳腺对X射线的敏感性,笔者认为,在无可疑复发或转移症状的情况下,对同一乳腺癌患者(特别是早期和/或有家族史、或年龄小于30岁的早期乳腺癌患者)实施重复扫描,尤其是在较短时间内的重复扫描,可以认为是过度CT扫描。对于乳腺癌保留乳房手术后患者的随访,需要关注乳腺钙化灶的出现情况,需要进行乳房X线摄影,并且因彩色超声和MRI能够发现乳房内小的占位病变,故一般不建议进行乳房CT扫描;临床上对乳腺癌患者的CT扫描主要针对已有术后复发转移,尤其是内脏转移的监测,以及晚期乳腺癌患者解救治疗时的疗效判定(尤其是肺部、纵隔、胸椎或肋骨病变),而能以非电离辐射检查技术(如MRI)代替的,建议尽量减少CT扫描检查的使用。

笔者提出合理使用CT扫描的建议:(1)在诊断乳腺癌时,为明确有无转移病灶而行全身多个脏器的CT扫描,主要是肺部病变的检查,头、腹部病变检查可考虑使用MRI;(2)在乳腺癌术后随访过程中,有可疑临床征兆需明确有无复发、转移灶时,可进行全身多个脏器的CT扫描,尤其是肺部病变的检查;(3)转移、复发性乳腺癌患者解救治疗期间利用CT扫描判断疗效,尤其是肺部病变。而且,以上检查均应遵循“必要性以及使用最低合理扫描剂量”的原则。此外,针对早期乳腺癌患者(特别是有家族史)的随访、BRCA1/2致病性突变携带者等,尤其要慎重决策CT扫描的使用。当有充分的临床需求时,需向患者告知可能的风险,同时注意合理采用非电离辐射诊断技术替代CT扫描。

参 考 文 献

- [1] Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII phase 2 [M]. Washington D. C.: National Academies Press, 2006;2-132.
- [2] 中国抗癌协会乳腺专业委员会. 中国抗癌协会乳腺癌诊治指南与规范(2013版)[J]. 中国癌症杂志, 2013, 23(8):637-684.
- [3] Khatcheressian JL, Hurley P, Bantug E, et al. Breast cancer follow-up and management after primary treatment: American Society of Clinical

- Oncology clinical practice guideline update[J]. J Clin Oncol, 2013, 31(7):961-965.
- [4] Hall EJ. Is there a place for quantitative risk assessment? [J]. J Radiol Prot, 2009, 29(2A): A171-184.
- [5] Hart D, Wall BF. UK population dose from medical X-ray examinations [J]. Eur J Radiol, 2004, 50(3): 285-291.
- [6] Institute of Medicine of the National Academies. Breast cancer and the environment: a life course approach[M]. Washington D. C.: National Academies Press, 2012:108-109.
- [7] Berrington de González A, Mahesh M, Kim KP, et al. Projected cancer risks from computed tomographic scans performed in the United States in 2007 [J]. Arch Intern Med, 2009, 169(22):2071-2077.
- [8] Valentin J, International Commission on Radiation Protection. Managing patient dose in multi-detector computed tomography (MDCT). ICRP Publication 102[J]. Ann ICRP, 2007, 37(1):1-79.
- [9] Tsapaki V, Aldrich JE, Sharma R, et al. Dose reduction in CT while maintaining diagnostic confidence: diagnostic reference levels at routine head, chest, and abdominal CT-IAEA-coordinated research project [J]. Radiology, 2006, 240(3): 828-834.
- [10] 高林峰, 郑钧正, 卓维海, 等. 医用 X 射线 CT 主要检查类型所致成年受检者剂量研究[J]. 辐射防护, 2013, 33(2):74-81.
- [11] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation-Annex D: Medical radiation exposures. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, Volume I [M]. New York: UNSCEAR, 2000:295-466.
- [12] Cohnen M, Poll LJ, Puettmann C, et al. Effective doses in standard protocols for multi-slice CT scanning [J]. Eur Radiol, 2003, 13(5): 1148-1553.
- [13] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Biological mechanisms of radiation actions at low doses--A white paper to guide the Scientific Committee's future programme of work[M]. New York: UNSCEAR, 2012:4-18.
- [14] Frush DP, Donnelly LF, Rosen NS. Computed tomography and radiation risks: what pediatric health care providers should know [J]. Pediatrics, 2003, 112(4): 951-957.
- [15] Brenner DJ. Should we be concerned about the rapid increase in CT usage? [J]. Rev Environ Health, 2010, 25(1): 63-68.
- [16] Oikarinen H, Meriläinen S, Pääkkö E, et al. Unjustified CT examinations in young patients[J]. Eur Radiol, 2009, 19(5): 1161-1165.
- [17] International Commission on Radiological Protection. The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103[M]. Amsterdam: Elsevier, 2007: 49-58.
- [18] Brooks AL. From cell to organism: the need for multiparametric assessment of exposure and biological effects[EB/OL]. [2014-12-10]. <http://www.birpublications.org/doi/abs/10.1259/bjr/78464782>.
- [19] No authors listed. The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103[J]. Ann ICRP, 2007, 37(2/4):1-332.
- [20] Lee CI, Flaster HV, Haims AH, et al. Diagnostic CT scans: institutional informed consent guidelines and practices at academic medical centers[J]. AJR Am J Roentgenol, 2006, 187(2): 282-287.
- [21] Preston DL, Ron E, Tokuoka S, et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998[J]. Radiat Res, 2007, 168(1): 1-64.
- [22] Shimizu Y, Kato H, Schull WJ. Technical report No. 5-88. Life span study report 11. Part 2. Cancer mortality in the years 1950-85 based on the recently revised doses (DS86) [EB/OL]. [2014-12-10]. http://www.ref.jp/library/scidata/lssrepor_e/tr05-88.htm.
- [23] Howe GR, McLaughlin J. Breast cancer mortality between 1950 and 1987 after exposure to fractionated moderate-dose-rate ionizing radiation in the Canadian fluoroscopy cohort study and a comparison with breast cancer mortality in the atomic bomb survivors study [J]. Radiat Res, 1996, 145(6):694-707.
- [24] Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, et al. The 15-Country Collaborative Study of Cancer Risk among Radiation Workers in the Nuclear Industry: estimates of radiation-related cancer risks [J]. Radiat Res, 2007, 167(4): 396-416.
- [25] 王继先, 李本孝, 赵永成, 等. 中国医用诊断 X 射线工作者 1950 ~ 1995 年恶性肿瘤危险分析[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2002, 22(4):234-238.
- [26] Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure [J]. N Engl J Med, 2007, 357(22): 2277-2284.
- [27] Ronckers CM, Erdmann CA, Land CE. Radiation and breast cancer: a review of current evidence [J]. Breast Cancer Res, 2005, 7(1):21-32.
- [28] Boice JD Jr, Land CE, Shore RE, et al. Risk of breast cancer following low-dose radiation exposure [J]. Radiology, 1979, 131(3): 589-597.
- [29] Pijpe A, Andrieu N, Easton DF, et al. Exposure to diagnostic radiation and risk of breast cancer among carriers of BRCA1/2 mutations: retrospective cohort study (GENE-RAD-RISK) [J]. BMJ, 2012, 345:e5660.
- [30] Wang LE, Han CH, Xiong P, et al. Gamma-ray-induced mutagen sensitivity and risk of sporadic breast cancer in young women: a case-control study [J]. Breast Cancer Res Treat, 2012, 132(3):1147-1155.
- [31] Jansen-van der Weide MC, Greuter MJ, Jansen L, et al. Exposure to low-dose radiation and the risk of breast cancer among women with a familial or genetic predisposition: a meta-analysis [J]. Eur Radiol, 2010, 20(11):2547-2556.
- [32] Yaffe MJ, Mainprize JG. Risk of radiation-induced breast cancer from mammographic screening [J]. Radiology, 2011, 258(1):98-105.
- [33] Modan B, Chetrit A, Alfandary E, et al. Increased risk of breast cancer after low-dose irradiation[J]. Lancet, 1989, 1(8639):629-631.
- [34] Baumann BM, Chen EH, Mills AM, et al. Patient perceptions of computed tomographic imaging and their understanding of radiation risk and exposure [J]. Ann Emerg Med, 2011, 58(1): 1-7.
- [35] Lee CI, Haims AH, Monico EP, et al. Diagnostic CT scans: assessment of patient, physician, and radiologist awareness of radiation dose and possible risks[J]. Radiology, 2004, 231(2):393-398.

(收稿日期:2014-12-15)

(本文编辑:罗承丽)

汪洋, 刘锦平, 吕青. 乳腺癌诊治及随访过程中过度 CT 扫描可能带来风险[J/CD]. 中华乳腺病杂志: 电子版, 2016, 10(1):50-53.