

高该省放射治疗水平, 保证工作人员和患者的健康起到巨大的作用。

参 考 文 献

- [1] 叶必华. 医用电子加速器运行期环境影响分析与评价. 中国辐射卫生, 2007, 16(1): 64-65.
- [2] 唐木涛, 孙华斌, 杨新芳, 等. 热释光用于个人剂量监测中剂量刻度方法研究. 医疗卫生装备, 2006, 27(10): 7-8.
- [3] 王海军, 杨翔方, 鲁永杰. 热释光测量在环境 γ 辐射水平调查中的应用. 海军医学杂志, 2006, 27(2): 110-112.
- [4] Wu DK, Sun FY, Dai HC. A high sensitivity LiF thermoluminescent dosimeter-LiF(Mg, Cu, P). Health Phys, 1984, 46(5): 1063-1067.
- [5] International Atomic Energy Agency. Maintenance of the thermoluminescence (TL) reference dosimetry system for radiotherapy. IAEA DMRP/9809. Vienna: IAEA, 1998.
- [6] 邓新华, 谭涪江. 四川省环境天然贯穿辐射水平调查研究. 辐射防护, 1994, 14(3): 190-201.
- [7] 国家质量监督检验检疫总局. GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准. 北京: 2002.

(收稿日期: 2009-04-22)

冠心病影像学检查与辐射剂量

程旭 李殿富 徐兆强 王杰 黄钢

【摘要】 核心脏病学技术、心脏 CT 扫描和冠状动脉造影等是最常用的冠心病影像诊断技术, 在降低冠心病的发病率和病死率方面具有重要的地位。随着这些技术的快速发展, 辐射问题也越来越被专业人员和社会大众所关注, 通过准确评价辐射剂量以及有效减少辐射剂量使冠心病的各种影像学技术得以更广泛、更合理的临床应用。

【关键词】 冠状动脉疾病; 辐射剂量; 体层摄影术, X 线计算机; 放射性核素显像; 冠状血管造影术

Radiation dose of cardiac diagnostic imaging in patients with coronary artery disease

CHENG Xu¹, LI Dian-fu^{1,2}, XU Zhao-qiang¹, WANG Jie³, HUANG Gang⁴

(1. Department of Nuclear Medicine, 2. Department of Cardiology, 3. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing, 210029, China; 4. Department of Nuclear Medicine, Renji Hospital, Institute of Clinical Nuclear Medicine, School of Medicine, Shanghai JiaoTong University, Shanghai, 200001, China)

【Abstract】 Nuclear cardiology, cardiac CT scanner and coronary angiography are common used in patients with coronary artery disease. Cardiac diagnostic imaging play important role with decreasing the incidence and morbidity of coronary artery disease. Radiation dose are concerned by physicians and the public due to the development of cardiac diagnostic imaging. Through evaluating and minimizing the radiation dose, cardiac diagnostic imaging can be used in clinical practice widely and reasonably.

【Key words】 Coronary disease; Radiation dosage; Tomography X-ray computed; Radionuclide imaging; Coronary angiography

自 1990 年至 2002 年, 美国完成的核心脏病学检查数从不足 300 万例次增长到 990 万例次,

2006 年, 美国完成了高达 1600 余万例次的核心脏病学检查。此外, CT 及冠状动脉造影(coronary angiography, CAG)技术的应用也越来越广泛, 2003 年美国完成的心脏 CT 检查例数为 48 万余例, 完成的 CAG 数量也达到 385 万例次^[1]。在我国, 放射诊疗机构约有 5 万余个, 每年有超过 2.5 亿人次接受放射检查, 全国的 CT 装机量逾 5000

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2009.05.017

基金项目: 江苏省六大人才高峰项目 (3030708401B08)

作者单位: 1. 210029, 南京医科大学第一附属医院核医学科 (程旭, 李殿富, 徐兆强), 2. 心脏科 (李殿富), 3. 放射科 (王杰); 4. 200001, 上海交通大学仁济医院核医学科, 上海临床核医学研究所 (黄钢)

通信作者: 李殿富 (E-mail: lidianfu@gmail.com)

台, 其中 64 排或以上的螺旋 CT 超过 250 台^[2]。随着各种冠心病影像学检查在临床上的普及, 随之而来的辐射问题也越来越被专业人员和社会大众所关注。

人体接受过量的辐射照射可引起受照个体细胞的不可逆性损害和染色体畸变, 甚至影响其后代。有研究表明: 接受过 X 线检查的人, 当寿命超过 75 岁时, 其癌症的发生概率将增加 0.6%^[3]。而在美国, 天然本底辐射的有效剂量为 3.0 mSv, 搭乘飞机时每千英里的有效剂量为 0.01 mSv, 接受一次正侧位胸片检查的有效剂量为 0.08 mSv, 接受一次钼靶检查的有效剂量为 0.13 mSv^[3]。

降低辐射剂量主要应服从国际放射防护委员会所提出的三原则, 即实践的正当性、辐射防护的最优化和个人剂量限制。检查中应始终遵循“合理使用低剂量 (as low as reasonably achievable, ALARA)”原则, 即以最低的辐射剂量来获取满足临床需要的诊断性影像的原则^[4]。由于心脏的影像学检查方式在减少冠心病等心血管疾病的发病率和病死率方面具有极其重要的地位, 因此, 对患者、专业人员和公众而言, 应综合评价辐射风险和可能获得的益处, 合理地使用各种心脏的影像学检查。

1 心脏病学

1.1 心脏病学检查的辐射剂量

心肌灌注显像 (myocardial perfusion imaging, MPI) 由于具体检查方案的不同而辐射剂量差距较大, 使用不同的放射性核素显像剂或同一种显像剂而采用不同的显像方法都会对辐射剂量产生较大的影响。常规的一日法静息/负荷 ⁹⁹Tc^m-甲氧基异丁基异腈 (⁹⁹Tc^m-methoxyisobutylisonitrile, ⁹⁹Tc^m-MIBI) 的有效剂量为 12 mSv, 常规的一日法静息/负荷 ⁹⁹Tc^m-tetrofosmin 的有效剂量为 10.6 mSv, 如果仅接受负荷显像则有效剂量可比静息/负荷显像降低 30%。²⁰¹Tl MPI 的辐射剂量较高, 双核素显像的辐射剂量更高, 一次双核素 ²⁰¹Tl/⁹⁹Tc^m-MIBI 检查的有效剂量为 27.3 mSv, 约是一次 ⁹⁹Tc^m 标记显像剂的负荷 MPI 的 3 倍。正电子类药物的 MPI 的辐射剂量明显低于单光子类药物, ¹³N-氨水和 ¹⁵O-水的 PET MPI 的有效剂量分别为 2.4 mSv 和 2.5 mSv^[1-4] (表 1)。

表 1 常规心肌灌注显像的有效剂量

检查方式	注射剂量 (×37 MBq)		有效剂量 (mSv)
	静息	负荷	
⁹⁹ Tc ^m -MIBI 静息/负荷一日法	10.0	30.0	12.0
⁹⁹ Tc ^m -MIBI 负荷		27.5	7.9
⁹⁹ Tc ^m -MIBI 负荷/静息二日法	30.0	30.0	17.5
⁹⁹ Tc ^m -tetrofosmin 静息/负荷一日法	10.0	30.0	10.6
⁹⁹ Tc ^m -tetrofosmin 负荷	0.0	27.5	6.6
²⁰¹ Tl 负荷再注射	3.0	1.0	25.1
²⁰¹ Tl/ ⁹⁹ Tc ^m -MIBI 双核素	3.0	30.0	27.3
⁹⁹ Tc ^m 标记红细胞	20.0		5.2
¹²³ I-间碘苄胍	10.0		4.8
¹²³ I-BMIPP	5.0		4.7
⁹⁹ Tc ^m -MAA/ ⁹⁹ Tc ^m -气溶胶	5.4/1.9		2.8
⁸⁶ Rb PET	45.0	45.0	16.0
¹³ N-氨	15.0	15.0	2.4
¹⁵ O-水	29.7	29.7	2.5
¹⁸ F-氟脱氧葡萄糖	10.0		7.0

表中, ¹²³I-BMIPP: 侧链脂肪 β-甲基碘苯酯十五烷酸; MAA: 大颗粒聚合白蛋白。

1.2 减少心脏病学检查的辐射剂量

在 2002 年, 美国接受 MPI 的受检者中有 35% 是以 ²⁰¹Tl 为显像剂, 而其中又有 86% 的受检者接受了双核素显像, 而且这种显像方式在门诊患者中应用尤多^[1]。因此, 根据尽可能低的合理剂量的原则, 在行 MPI 时应尽可能使用钼标记的显像剂而避免使用 ²⁰¹Tl 作为显像剂, 除非在某些特殊的情况下 (如需要同时评估心肌活力或胃肠道摄取钼标记显像剂可能异常增加) 才考虑使用 ²⁰¹Tl。应注意的是, 尽管使用钼标记显像剂有助于减少受检者的辐射剂量, 但由于该显像剂的使用剂量较大, 会导致工作人员受到较高剂量的辐射照射。

通过以下方法有助于减少心脏病学检查时受检者的辐射剂量: ①在 SPECT 中尽可能使用钼标记显像剂; ②对于疾病可能性低的受检者可以考虑先行负荷显像或仅做负荷显像, 从而避免受检者接受不必要的静息 MPI; ③在保证图像质量的前提下使用显像剂的剂量尽可能低; ④对于体重较轻的受检者减少注射剂量; ⑤利用 CT 衰减校正时降低管电流; ⑥显像完成后嘱咐受检者多饮水、早排尿。

2 心脏 CT

2.1 心脏 CT 检查的辐射剂量

近年来, 多排螺旋 CT (multi-slice computed tomography, MSCT) 技术得到了飞速发展, MSC 具

有空间分辨率高、检查时间短等优点，已被临床广泛接受和使用，社会的认知度也极高，甚至在许多医院，门诊就诊者会自行要求接受心脏 CT 检查。

大量研究评价了心脏 CT 检查的辐射剂量^[1,5-8]（表 2）。总体来说，采用回顾性门控采集（retrospective gating）技术进行心脏冠脉钙化积分测定时的平均有效剂量介于 1.0~6.2 mSv，而采用前瞻性门控（prospective gating）技术采集时冠脉钙化积分测定的平均有效剂量降至 0.5~1.8 mSv，CT 冠状动脉造影（CT coronary angiography, CTCA）的平均辐射剂量介于 4.0~21.4 mSv，提高空间分辨率或增大管电流均可致辐射剂量增加。与核素 MPI 不同，CTCA 时受检者肺、肝脏、食管、特别是女性乳腺的等效剂量（equivalent doses）较大^[9]。一项利用 16 层 MSCT 的研究报道，采用心电门控管电流调节（electrocardiographically controlled tube current modulation, ECTCM）技术可将女性受检者乳腺所受等效剂量由 55.6 mSv 降至 27.1 mSv^[10]。ECTCM 技术可将管电流根据心动周期的不同时间点进行调整，例如，在心脏收缩早期，由于冠脉位移较为明显，故所得图像多不用于最后诊断，此时通过适当降低管电流则可以明显减少受检者所受辐射剂量。

2.2 减少心脏 CT 检查辐射剂量

在进行冠状动脉钙化积分测定时，应尽可能采用前瞻性门控采集技术。在利用 CT 平扫进行冠状动脉钙化积分测定时应尽可能在 CTCA 前进行，因为如果冠状动脉钙化严重常会导致难以对冠状动脉病变进行准确判断，先进行 CT 冠状动脉钙化积分测定则有助于减少不必要的 CTCA^[11]。对于心率整齐的受检者，采用 ECTCM 技术可以有效减少辐射剂量。 β 受体阻滞剂不仅能降低心率从而减少图像伪影，还可以在采用 ECTCM 技术时减少受检者的辐射剂量，这也被 Jakobs 等^[12] 的研究证实。尽量缩短扫描视野的长度也有助于减少辐射剂量。此外，采用恰当的管电流和管电压在减少辐射剂量方面也具有非常重要的作用。大量研究证实，有效剂量和管电流呈线性增高的关系，因此，应根据显像设备的不同，在保证图像质量的前提下尽可能使用较小的管电流。Hausleiter 等^[13] 探讨了利用 64 排螺旋 CT 进行 ECTCM 采集时降低管电压在减少辐射剂量方面的价值，研究中一组受检者（50 例）在图像采集时采用 120 keV 的管电压，另一组患者（30 例）采用的管电压为 100 keV，结果显示出低电压组的平均辐射剂量较高电压组减少 43%，而两组所获得的图像质量并无差异，当然，这一结论尚待进一步的研究证实。

表 2 不同研究报道 CT 冠状动脉造影的有效剂量

研究者	CT 层数	年份	平均有效剂量 (mSv)				
			CTCA		冠脉钙化积分测定		
			未使用 ECTCM	使用 ECTCM	未使用 ECTCM	使用 ECTCM	使用前瞻性 门控采集
Poll 等	4	2002	8.3~10.3 [△] ; 11.0~12.7 [▽]	4.0~4.6 [△] ; 5.4~5.6 [▽]	1.9~2.4 [△] ; 2.5~2.9 [▽]	1.2~1.5 [△] ; 1.6~1.8 [▽]
Hunold 等	4	2003	6.7~10.9 [△] ; 8.1~13.0 [▽]	3.0~5.2 [△] ; 3.6~6.2 [▽]	1.5 [△] ; 1.8 [▽]
Coles 等	12	2006	14.2	.....	4.1	2.6	.....
Coles 等	16	2006	15.3	.....	.....	.....	.....
Flohr 等	16	2003	7.1 [△] ; 10.5 [▽]	4.3 [△] ; 6.4 [▽]	2.2 [△] ; 3.1 [▽]	0.45 [△] ; 0.65 [▽]
Gerber 等	16	2005	11.3	8.1	.....	.....	.....
Hoffmann 等	16	2005	4.9	8.1	.....	.....	.....
Trabold 等	16	2003	8.1 [△] ; 10.9 [▽]	4.3 [△] ; 5.6 [▽]	2.9 [△] ; 3.6 [▽]	1.6 [△] ; 2.0 [▽]
Mollet 等	64	2005	15.2 [△] ; 21.4 [▽]	1.3 [△] ; 1.7 [▽]
Raff 等	64	2005	13 [△] ; 18 [▽]
Nikolaou 等	64	2006	8.0~10.0	.....	.....	.....	.....
Pugliese 等	64	2006	15 [△] ; 20 [▽]
Muhlenbruch 等	64	2007	13.6 [△] ; 17.2 [▽]
Hans 等	双源 64	2008	6.9±0.7 (80~89bpm) 5.9±1.3 (90~100bpm)	.....	.....	.....	.....
Frank 等	320	2008	14±2.3	.....	.....	.....	.....

表中，△：男性；▽：女性；.....：未提供；CTCA：CT 冠状动脉造影；ECTCM：心电门控管电流调节。

近年来,各大CT设备的制造商们也在积极开发低辐射剂量的心脏CT设备,技术热点主要集中在双源或多源扫描和前瞻性门控采集技术^[14]。双源或多源扫描可以增加扫描时的螺距、减少机架在旋转时不必要的重叠,从而减少辐射剂量,而且该技术对于心率较快的受检者所减少的辐射剂量更为明显。有研究显示,对于不同心率的受检者,减少双源CT的螺距并由此减少辐射剂量的程度是不同的,与标准采集方案(螺距为0.2)相比,当受检者心率为60次/min,容积CT剂量指数减少25%(螺距0.265);当受检者心率为78次/min,容积CT剂量指数减少44%(螺距0.36);当受检者心率为100次/min,容积CT剂量指数则减少57%(螺距0.46)^[15]。另一种可以有效减少心脏CT辐射剂量的方法是采用前瞻性门控采集技术并结合步进(step-and-shot)式的非螺旋扫描方式或者增加探头的数量(如采用256个探头)使整个受检器官实现非螺旋扫描^[16]。虽然上述方法近年来发展速度很快,但它们对诊断的敏感性、特异性以及辐射剂量的影响尚需研究证实。

3 CAG

3.1 CAG的辐射剂量

大量文献报道了CAG的平均有效剂量,但不同研究报道的结果差异较大,范围为23~227 mSv^[1](表3),联合国科学委员会所使用CAG有效剂量的参考值≈7 mSv^[17]。进行冠状动脉、外周血管和心脏电生理的手术操作时,由于辐照时间较长,可

导致辐射剂量明显增高。介入操作的辐射剂量很大程度上与术者的经验、辐射防护设备和技术的使用、手术本身的情况以及导管室的设备配备等因素有关。例如,通常采用经桡动脉行CAG和介入手术要比经股动脉所需时间更长,从而导致辐射剂量增加;介入术时不同的投照体位也会影响辐射剂量,左前斜位由于角度和辐射距离的原因导致辐射剂量明显高于其他体位^[18]。

与心脏CT或核素心脏显像不同,冠脉介入和某些电生理检查常会在某些特定的体表位置上进行长时间的X线透视,因此,心脏介入术所产生的辐射常导致皮肤损害事件的发生。不同辐射剂量导致的皮肤损害程度也不相同,皮肤损害主要包括红斑、局部皮肤坏死甚至恶变等^[19]。Karambatsakidou等^[20]报道,常规CAG术时避免皮肤损害的最大允许剂量面积乘积(dose area product)为530 Gy·cm²,对左前降支进行冠状动脉介入疗法的最大允许剂量面积乘积为250 Gy·cm²。

3.2 减少CAG的辐射剂量的方法

减少CAG辐射剂量的主要方法有:①在保证图像诊断质量的前提下,使用尽可能慢的X线透视帧速;②尽可能缩短X线透视时间;③在保证诊断准确性的前提下使用尽量小的图像放大率;④缩短受检者与探头或X线球管的距离;⑤保证准直器的最优化;⑥减少视图(views)的数量;⑦对一些辐射敏感器官(如性腺等)使用屏蔽设备;⑧采用尽可能高的kV从而得到尽可能低的mA;⑨如非必需,不作左室造影;⑩采用多体位X线透视和

表3 成年人接受CAG时的有效剂量

研究者	年份	平均有效剂量(mSv)				
		CAG	PTCA	CAG+PTCA	ICS	CAG+ICS
Leung 和 Martin 等	1996	3.1	.....	.....	.....	.....
Broadhead 等(A组)	1997	9.4	14.2	.....	.....	.....
Broadhead 等(B组)	1997	4.6	10.2	.....	.....	.....
Betsou 等	1998	5.6	6.9	9.3	9	13
Neofotistou 等	1998	4.6~15.8	.....	5.4~41.0	.....	.....
Katritsis 等	2000	5	6.6	13.6	10.2	16.7
Delichas 等(A组)	2003	22.7	30.5	.....	.....	.....
Delichas 等(B组)	2003	17.9	14.7	.....	.....	.....
Hunold 等	2003	2.3	.....	.....	.....	.....
Sandborg 等(A组)	2004	6.8	.....	8.6	.....	.....
Sandborg 等(B组)	2004	9.2	.....	13.5	.....	.....
Coles 等	2006	5.6	.....	.....	.....	.....
Vijayalakshmi 等	2007	4.4	.....	.....	.....	.....

注: CAG: 冠状动脉造影; PTCA: 经皮冠状动脉血管成形术; ICS: 冠脉支架植入;: 未提供

使用实时皮肤剂量监测设备,以预防和减少辐射对皮肤的损害^[21]。

4 结语

冠心病影像学检查的方法较多,所用的仪器设备、具体的检查方法也多种多样,特别是国内的影像仪器敏感性和其他性能很可能不如国外,专业人员的理论水平和实践能力也参差不齐,这些都有可能使受检者和工作人员受到更多的辐射照射。各单位因根据自身仪器设备的特点,加强从业人员相关专业知识的培训,摸索出适合自己的检查方案。在临床实践中,谨遵尽可能低的合理剂量原则,最大限度地减少冠心病影像学检查中的辐射剂量,从而使各种冠心病的影像学检查能够继续发挥自身优势,在临床上得到更广泛的应用。

参 考 文 献

- [1] Einstein AJ, Moser KW, Thompson RC, et al. Radiation dose to patients from cardiac diagnostic imaging. *Circulation*, 2007, 116(11): 1290-1305.
- [2] 孟俊非, 范森. 重视 CT 检查中的辐射剂量. *中华放射学杂志*, 2008, 42(10): 1015-1017.
- [3] Thompson RC, Cullom SJ. Issues regarding radiation dosage of cardiac nuclear and radiography procedures. *J Nucl Cardiol*, 2006, 13(1): 19-23.
- [4] Musolino SV, DeFranco J, Schlueck R. The ALARA principle in the context of a radiological or nuclear emergency. *Health Phys*, 2008, 94(2): 109-111.
- [5] Morin RL, Gerber TC, McCollough CH. Radiation dose in computed tomography of the heart. *Circulation*, 2003, 107(6): 917-922.
- [6] 刘涛, 胡可, 袁芳, 等. 双源 CT 的辐射剂量研究. *中国医疗设备*, 2008, 23(10): 157-158.
- [7] Rybicki FJ, Otero HJ, Steigner ML, et al. Initial evaluation of coronary images from 320-detector row computed tomography. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2008, 24(5): 535-546.
- [8] Berman DS, Hachamovitch R, Shaw LJ, et al. Roles of nuclear cardiology, cardiac computed tomography, and cardiac magnetic resonance: assessment of patients with suspected coronary artery disease. *J Nucl Med*, 2006, 47(1): 74-82.
- [9] Hirai N, Horiguchi J, Fujioka C, et al. Prospective versus retrospective ECG-gated 64-detector coronary CT angiography: assessment of image quality, stenosis, and radiation dose. *Radiology*, 2008, 248(2): 424-430.
- [10] Trabold T, Buchgeister M, Küttner A, et al. Estimation of radiation exposure in 16-detector row computed tomography of the heart with retrospective ECG-gating. *Rofo*, 2003, 175(8): 1051-1055.
- [11] Paul JF, Abada HT. Strategies for reduction of radiation dose in cardiac multislice CT. *Eur Radiol*, 2007, 17(8): 2028-2037.
- [12] Jakobs TF, Becker CR, Ohnesorge B, et al. Multislice helical CT of the heart with retrospective ECG gating: reduction of radiation exposure by ECG-controlled tube current modulation. *Eur Radiol*, 2002, 12(5): 1081-1086.
- [13] Hausleiter J, Meyer T, Hadamitzky M, et al. Radiation dose estimates from cardiac multislice computed tomography in daily practice: impact of different scanning protocols on effective dose estimates. *Circulation*, 2006, 113(10): 1305-1310.
- [14] Earls JP. How to use a prospective gated technique for cardiac CT. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2009, 3(1): 45-51.
- [15] McCollough CH, Primak AN, Saba O, et al. Dose performance of a 64-channel dual-source CT scanner. *Radiology*, 2007, 243(3): 775-784.
- [16] Hsieh J, Londt J, Vass M, et al. Step-and-shoot data acquisition and reconstruction for cardiac x-ray computed tomography. *Med Phys*, 2006, 33(11): 4236-4248.
- [17] Charles M. UNSCEAR report 2000: sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *J Radiol Prot*, 2001, 21(1): 83-86.
- [18] Coles DR, Smail MA, Negus IS, et al. Comparison of radiation doses from multislice computed tomography coronary angiography and conventional diagnostic angiography. *J Am Coll Cardiol*, 2006, 47(9): 1840-1845.
- [19] Koenig TR, Wolff D, Mettler FA, et al. Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: part 1, characteristics of radiation injury. *AJR Am J Roentgenol*, 2001, 177(1): 3-11.
- [20] Karambatsakidou A, Tornvall P, Saleh N, et al. Skin dose alarm levels in cardiac angiography procedures: is a single DAP value sufficient?. *Br J Radiol*, 2005, 78(933): 803-809.
- [21] Hirshfeld JW Jr, Balter S, Brinker JA, et al. ACCF/AHA/HRS/SCAI clinical competence statement on physician knowledge to optimize patient safety and image quality in fluoroscopically guided invasive cardiovascular procedures: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association/American College of Physicians Task Force on Clinical Competence and Training. *Circulation*, 2005, 111(4): 511-532.

(收稿日期: 2009-06-06)