

数字乳腺 X 线机的质量保证

胡昕¹, 卢广文²

(1. 武警广东省总队医院医学工程科, 广州 510507; 2. 南方医科大学生物医学工程系, 广州 510515)

[摘要] 目的:提高数字乳腺 X 线机的工作质量,减少误、漏诊。方法:通过线束半值层的测量、腺体平均剂量、管电压的准确性与重复性、辐射输出 4 个方面来进行质量保证。结果:图像对比度、图像模糊度、图像噪声都得到了优化。结论:数字化乳腺机经过质量保证,各性能参数的变化都保持在允许范围内,提高了摄影质量。

[关键词] 数字乳腺 X 线机; 线束半值层; 腺体平均剂量; 质量保证

DOI:10.3969/j.issn.1672-7347.2010.04.020

Quality assurance of digital mammography X-ray system

HU Xin¹, LU Guangwen²

(1. Department of Biomedical Engineering, Guangdong General Hospital of Armed Police, Guangzhou 510507;
2. Department of Biomedical Engineering, Nanfang Medical University, Guangzhou 510515, China)

Abstract: **Objective** To improve the performance quality of mammography X-ray system, and to decrease misdiagnoses. **Methods** Quality assurance was tested and controlled from such aspect as measurement of half value layer, beam quality assessment, breast entrance exposure average glandular dose, tube tursion accuracy and reproducibility, and radiation output. **Results** The image contrast, mistiness and noise were optimized. **Conclusion** With the quality assurance of the digital mammography X-ray system, the variations of the performance parameters remain in the range of permission, thus improving the quality of mammography.

Key words: digital mammography X-ray system; half value layer beam; average glandular dose; quality assurance

乳腺 X 线摄影是目前探测乳癌的最佳方法。现阶段各医院只重视乳腺 X 线机的正常使用及故障修复,满足于获得的图像不影响基本诊断,并无专人负责参数检测、状态监测的质保工作,而乳腺 X 线机的性能及运行状态是关乎摄影质量及病人剂量的硬件基础,是决定摄影质量的重点因素^[1]。X 线的输出不稳定、散射线严重会导致图像对比度差;球管焦点较大、阳极靶面 X 线量分布不均、曝光时间过长、焦点和乳腺距离过大会导致图像模

糊;X 线辐射剂量过高会导致图像斑点^[2]。因此,本研究从线束半值层的测量、腺体平均剂量、管电压的准确性与重复性、辐射输出 4 个方面来对数字乳腺 X 线机进行质量保证。

1 材料与方 法

1.1 线束半值层(HVL)测量

检测材料:在乳腺 X 线光束能量范围内校验

合格的电离室和数字千伏表,6 块 99.9% 纯铝,厚 0.1 mm (精准到 $\pm 1\%$),长和宽充分盖住电离室。

检测方法:(1)让压迫器尽可能靠近球管,将电离室放在影像接收器上方 4.5 cm 处,从左至右放置到居中位置,且距胸壁侧边缘 4 cm,电离室必须完全处于 X 线视野内;(2)选择最常用的临床电压值,将功能设置为连续曝光;(3)在手动模式下,将曝光条件调整至足以测量到 500 mR 的曝光量,并记录电流值;(4)将光野调整至刚好覆盖整个电离室的大小(降低回散射辐射的影响);曝光 1 次并记录数值 E_0 (第 1 次尚未放置任何铝片时的曝光量);(5)在 X 线管与电离室之间的压迫板上方,放入 0.2 mm 的铝片,再次调整光野大小至刚好覆盖铝片并且确定能遮住电离室。曝光 1 次并记录数值;(6)每加 0.1 mm 厚铝块后曝光并记录数值,直到数值小于初始数值 E_0 的一半;(7)移除所有的铝块后,再曝光 1 次,记录电离室读数,如果与初始数值 E_0 有超过 2% 的偏差,则再依之前步骤重复测量;(8)针对其他临床使用的电压及靶极/滤片组合,重复上述步骤 2 至 7。

1.2 入射剂量及腺体平均剂量

检测材料:在乳腺 X 线光束能量范围内校验合格的电离室和数字千伏表,Fluke Biomedical 公

司的型号 18-220 乳房模体乳房模体(压缩后厚度大约 4.2 cm,其组成相当于 50% 脂肪及 50% 的乳腺)。

检测方法:(1)选择有栅格的摄影模式,19 cm \times 23 cm 的光野;(2)将模体置于影像接受器及乳房支撑平台的上方,模体及电离室放置位置如图 1,电离室放置位置要在最优化摄影参数(AOP)的监测范围外,避免选择曝光参数时受电离室的高衰减材质影响,测量期间需固定电离室位置;(3)下压压迫板(图 2),选择通常使用的临床摄影模式,手动模式则采用临床上常用电压、阳极靶滤片及电流,AOP 模式则选择临床使用的对比度优化模式(CNT)、标准模式(STD)或剂量优化模式(DOSE);(4)曝光 1 次,记录电流和电离室的读值,并记录使用 AOP 模式时得到的电压和阳极靶滤片;(5)继续曝光 3 次;(6)升高压迫板,将保护影像接收器的钢板(或铅板等)置于乳房支撑平台上,避免伤害影像接收器;(7)放置电离室与模体高度等高的位置,再移除模体,并将电离室移至影像接收器左右置中、离胸壁 4 cm 的位置;(8)下压压迫板,轻轻接触电离室;(9)选择手动模式,曝光条件参考先前曝光的参数,进行 1 次曝光并记录电离室的读值(X_{ESE} 计读);(10)计算并求出 4 次曝光时电流的平均值,计算平均腺体剂量。

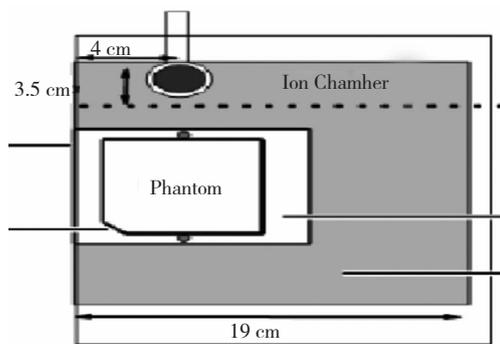


图 1 电离室和模体的位置。

Fig. 1 Position of the ionization chamber and phantom.

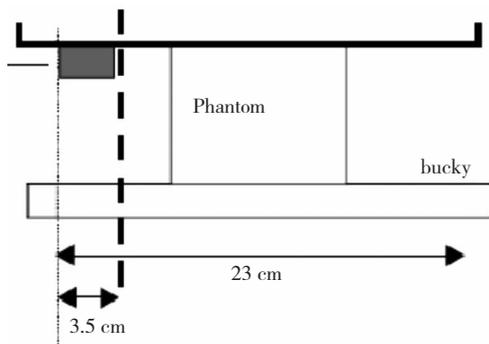


图 2 压迫板的位置。

Fig. 2 Position of the oppression plank.

1.3 管电压的准确性与重复性

检测材料:选用电压值精确到 $\pm 1.5\%$ kV,且在乳腺摄影所用电压范围内测量精度不大于 0.5 kV 的千伏表。

检测方法:(1)在手动模式下选临床常用的

电压、电流(如:28 kV,30 mA);(2)在相同条件下,重复曝光 4 次,并记录所测量的电压值;(3)选择其他电压值重复上述步骤,只需各种条件下曝光 1 次(重复性只需在最常使用的临床电压值

下测试即可,除非怀疑其他电压值在使用时会变动,才需要重复曝光以评估重复性)。这些测量至少包含临床使用且测试仪器可测量的最低管电压峰值和临床使用的最高管电压峰值,评估准确性与重复性时,若对4次管电压峰值测量结果有疑虑,可再测量6次,并取10次的测量值评估。

1.4 辐射输出

检测材料:在乳腺X线光束能量范围内校验

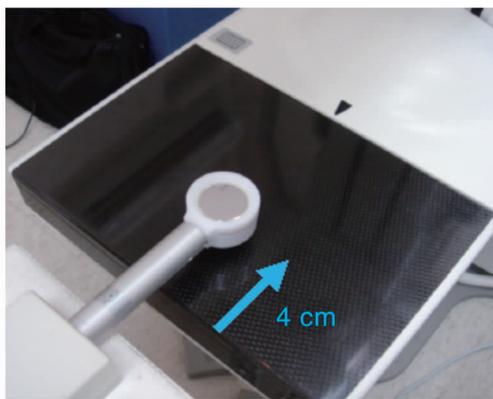
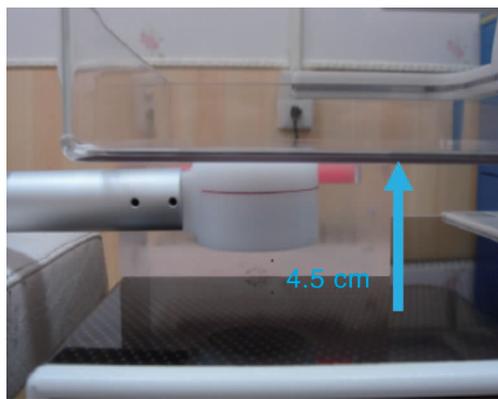


图3 电离室放置的位置。

Fig. 3 Position of the ionization chamber.

2 结果

2.1 线束半值层测量结果

用对数内插法计算HVL。没加铝片的直接曝光读数用 E_0 表示。将得到的数值中大于 $E_0/2$ 的最小值用 E_a 表示, T_a 为对应的铝片厚度;将得到的数值中小于 $E_0/2$ 的最大值用 E_b 表示, T_b 为对应的铝片厚度。 $E_a > E_b$, $T_a < T_b$,由此得出计算HVL的公式:

$$HVL = \frac{T_b \ln[2E_a/E_0] - T_a [2E_a/E_0]}{\ln[E_a/E_b]}$$

半值层的取值范围为:

$$\text{电压}/100 + 0.03 \leq HVL \leq \text{电压}/100 + C$$

其中C为常数,与靶、滤片材料有关,机器状态正常时,半值层取值范围见表1,如测量结果超出标准范围,则需要校正电压值,更换滤片。

2.2 入射剂量及腺体平均剂量

用曝光平均值计算腺体平均剂量。查转换因子表找到相对应的靶极-滤片组合,再根据测量到的HVL查出平均腺体剂量的转换因子(D_{gN}),

合格的电离室和数字千伏表。

检测方法:(1)手动模式,电压为28 kV(厂方规定校准值)、靶、滤片为钼/钼(Mo/Mo)、曝光时间至少3 s;(2)移除模体,将电离室摆放在乳房支撑平台上方,位置如图3;(3)下压压迫板轻接触电离室,确保电离室固定不动;(4)曝光1次并记录曝光参数及时间;(5)针对临床使用的其他SID(source image distance),重复步骤1至4。

将曝光平均值(X_{ESE})及 D_{gN} 带入以下公式,计算出腺体平均剂量(AGD)。

$$AGD = D_{gN} \cdot X_{ESE}$$

腺体平均剂量测试结果见表2,对于厚度为2~4 cm的乳腺,AOP模式下的对比度优化模式(CNT)腺体平均剂量明显高于其他两种模式,标准模式(STD)与剂量优化模式(DOSE)的平均剂量差别不大,对于厚度为8 cm的乳腺,3种模式下剂量没有差别。

表1 HVL取值范围

Tab. 1 Range of the HVL

| 电压/kV | HVL/mmAl | | |
|-------|---------------|---------------|---------------|
| | Mo/Mo | Mo/Rh | Rh/Rh |
| | C=0.12 | C=0.19 | C=0.22 |
| 24 | 0.27≤HVL≤0.36 | 0.27≤HVL≤0.43 | 0.27≤HVL≤0.46 |
| 26 | 0.29≤HVL≤0.38 | 0.29≤HVL≤0.45 | 0.29≤HVL≤0.48 |
| 28 | 0.31≤HVL≤0.40 | 0.31≤HVL≤0.47 | 0.31≤HVL≤0.50 |
| 30 | 0.33≤HVL≤0.42 | 0.33≤HVL≤0.49 | 0.33≤HVL≤0.52 |

表 2 腺体平均剂量测试

Tab. 2 The measurement of average glandula dose

| 乳房厚度/cm | 腺体平均剂量/mGy | | |
|---------|------------|------|------|
| | CNT | STD | DOSE |
| 2 | 0.57 | 0.53 | 0.52 |
| 4 | 1.47 | 1.28 | 1.06 |
| 6 | 1.66 | 1.51 | 1.48 |
| 8 | 3.04 | 3.05 | 3.06 |

2.3 管电压的准确性与重复性

确定电压准确性:将 4 次曝光后记录的电压数值取平均值,与预设电压值进行比较(表 3),若误差大于 5%,则要调整参考电压值至容许范围内。图 4 是电压值超出允许范围后自动模式

曝光获得的图像,明显可见曝光条件不足,图 5 手动设置曝光条件进行调整,图像仍不理想,图 6 是质量保证后自动模式下的图像。

确定电压重复性:计算每一个电压模式下的电压值的标准差,然后计算变异系数。若变异系数大于 0.02,则需要修正,表 3 中 28 kV 变异系数为 1.2%。

表 3 KV 的准确性测试

Tab. 3 The measurement of KV accuracy

| 设定电压 | 实际电压/kV | | | | | 误差 |
|-------|---------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 均值 | |
| 28 kV | 28 | 28.2 | 28.4 | 28.5 | 28.3 | 1.1% |

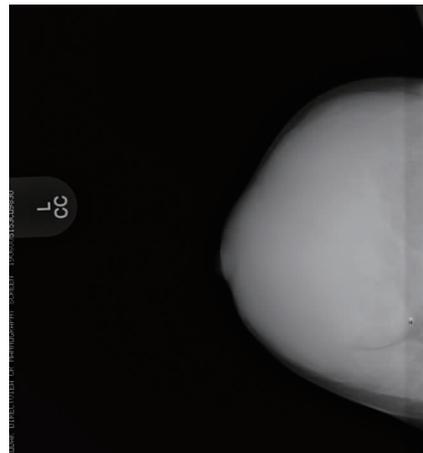


图 4 质量保证前自动模式曝光图像。
Fig. 4 Before quality assurance, AOP mode.

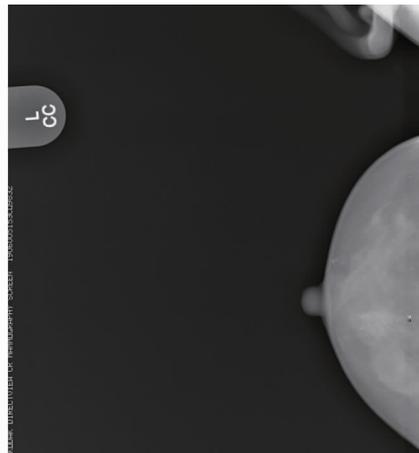


图 5 质量保证前手动模式设置曝光条件。
Fig. 5 Before quality assurance, Manual mode.

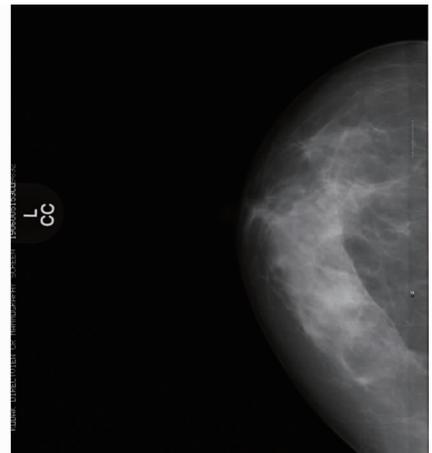


图 6 质量保证后自动模式。
Fig. 6 After quality assurance, AOP mode.

2.4 辐射输出

评估辐射输出率即计算空气比释动能率,公式如下:

$$\text{辐射输出率}/(\text{mGy}/\text{s}) = 0.00873 \times \text{曝光率}$$

针对各种临床使用的 SID,当使用 Mo/Mo 组合、28 kV、曝光时间至少 3 s 以上,空气比释动能率应大于 7 mGy/s。

表 4 28 kV 的辐射输出

Tab. 4 Radiation output of 28 kV

| 电压/kV | 电流/mA | 空气比释动能率/(mGy/s) |
|-------|-------|-----------------|
| 28 | 40 | 8.65 |
| 28 | 50 | 10.79 |
| 28 | 60 | 12.98 |

3 讨论

HVL 反映了射线的穿透能力,由电压值和固定滤过决定^[3],电压值变化影响影像对比度和浓度,半值层检测限定软射线的含量,包含了对防护水平的测试。目的是保证 X 线的 HVL 适宜,减低病人乳房剂量,又不至于过低而降低影像的对比度。

高质量的乳腺摄影必须满足一定的曝光剂量,而剂量过高会增加患乳腺癌的概率^[4],因此,必须在提高摄影质量和保护受检者之间找到一个最佳的剂量结合点。腺体平均吸收剂量是强

制性防护参数,它关系到病人和技师的身体健康。本研究提示每次摄影的腺体平均吸收剂量不应超过 3 mGy。

电压值准确性直接影响到图像的对比度和平均腺体剂量^[5]。电压值越高输出的 X 线硬度越大,穿透能力越强。高的电压值可降低入射剂量,但会降低图像的对比度。

辐射输出量增大,可以缩短曝光时间和减少运动伪影。但大输出量会使灯丝温度过高,缩短球管寿命,因此需要在满足临床摄影需要的基础上适当的限制输出量,提高成像质量和防护水平。本研究显示当使用 Mo/Mo 组合,28 kV,曝光时间 > 3 s 时,空气比释动能率应 > 7 mGy/s。

数字乳腺 X 线机只有提供高质量的线质,才能得到高品质的图像,而数字乳腺 X 线机工作时的管电压、管电流和曝光时间等输出参数并不是一成不变的,就算在极短的时间间隔,相同的设定条件下,输出参数都会有一定的变化,如不加以控制,会严重影响摄影质量^[6-7],因此,做好机器的性能及运行状态的保证,使 *HVL*、腺体平均剂量、电压值、辐射输出等各性能参数的变化都保持在允许范围内,才能达到提高摄影质量,保障受检者安全的目的。

参考文献:

[1] Bick U, Diekmann F. Digital mammography: what do we and what don't we know? [J]. *Eur Radiol*, 2007, 17(8): 1931-1942.

- [2] Huda W, Sajewicz A M, Ogden K M, et al. Experimental investigation of the dose and image quality characteristics of a digital mammography imaging system [J]. *Med Phys*, 2003, 30(3): 442-448.
- [3] Kim S J, Moon W K, Cho N, et al. Computer-aided detection in full-field digital mammography: sensitivity and reproducibility in serial examination [J]. *Radiology*, 2008, 246(1): 71-80.
- [4] 庄承成,肖莹. 超声弹性成像与钼靶 X 线成像对乳腺病灶临床诊断价值的比较 [J]. *中南大学学报:医学版*, 2009, 34(1): 18-20.
ZHUANG Chengcheng, XIAO Ying. Ultrasonic elastograph and molybdenum X-ray photography in differential diagnosis of breast disease [J]. *J Cent South Univ. Med Sci*, 2009, 34(1): 18-20.
- [5] Pisano E D, Hendrick R E, Yaffe M J, et al. Diagnostic accuracy of digital versus film mammography: exploratory analysis of selected population subgroups in DMIST [J]. *Radiology*, 2008, 246(2): 376-383.
- [6] 曹琰,梅红,李萌,等. 数字乳腺摄影中不同剂量模式对病灶的显示能力 [J]. *中国医学影像技术*, 2009, 25(4): 702-704.
CAO Yan, MEI Hong, LI Meng, et al. Evaluation of abilities of different expose models for the detection of lesions in digital mammography [J]. *Chin J Med Imaging Technol*, 2009, 25(4): 702-704.
- [7] 邓秀芬,黄崧,赵妮,等. 乳腺钼靶计算机 X 线摄影的临床应用 [J]. *医学影像学杂志*, 2008, 18(5): 492-493.
DENG Xiufeng, HUANG Song, ZHAO Ni, et al. Clinical application of computed molybdenum target mammography in the examination of breast [J]. *J Med Imaging*, 2008, 18(5): 492-493.

(本文编辑 彭敏宁)