



· 论 著 ·

# 基于模体的乳腺X线摄影质量控制中SNR变异系数的分析

沈茜刚, 柴青焕, 姜婷婷, 沈悦, 肖勤, 顾雅佳

复旦大学附属肿瘤医院放射诊断科, 复旦大学上海医学院肿瘤学系, 上海 200032

**[摘要]** 背景与目的: 在乳腺X线摄影质量控制中, 信噪比 (signal-to-noise ratio, SNR) 是指图像中有用的信号强度与背景噪声的比值, 是衡量图像质量好坏的重要指标之一。变异系数是描述SNR一致性和可重复性的常用指标。本研究通过分析不同厂家的3台乳腺X线摄影设备在不同曝光模式下的二维图像和X线断层摄影 (tomography, Tomo) 图像 (简称断层图像) 中SNR变异系数的变化情况, 旨在评估乳腺X线摄影设备性能的稳定性和可重复性。方法: 选用乳腺X线摄影质量控制专用的聚甲基丙烯酸甲酯模体 (polymethylmethacrylate phantom, PMMA), 分别在全数字化乳腺X线摄影 (full-field digital mammography, FFDM)、低剂量乳腺X线摄影和数字乳腺断层摄影 (digital breast tomosynthesis, DBT) 3种曝光模式下行PMMA厚度从20~80 mm, 实际压迫厚度等效于乳腺平均密度的压迫厚度21~103 mm的自动曝光检测。计算不同乳腺X线摄影设备在不同曝光模式、不同压迫厚度时二维图像和断层图像中SNR的变异系数变化情况。结果: 在FFDM、低剂量乳腺X线摄影、DBT曝光模式下, 等效于乳腺平均密度的压迫厚度21~103 mm时, 分析乳腺X线摄影设备1、2、3在不同曝光模式下二维图像的SNR变异系数间的差异, 仅DBT曝光模式下不同设备间的二维图像差异有统计学意义 ( $P=0.003$ ), 设备1、2、3中二维图像的SNR变异系数分别为0.188%~0.720%、0.368%~1.073%和0.402%~1.662%。FFDM和低剂量曝光模式下设备1、2、3中二维图像的SNR变异系数差异均无统计学意义 ( $P=0.060$ )。在DBT曝光模式时不同乳腺X线摄影设备的断层第一张投影图和0°投影图的SNR变异系数变化范围在设备1 (2种角度)、2、3中差异均无统计学意义 ( $P=0.373$ ,  $P=0.742$ ,  $P=0.225$ ,  $P=0.693$ )。结论: 不同乳腺X线摄影设备、不同曝光模式时二维图像和断层图像的SNR变异系数变化范围各不相同, 没有固定和标准的数值, 但都在乳腺X线摄影设备质量控制要求范围内。在FFDM和低剂量曝光模式时乳腺X线摄影设备二维图像的稳定性、可重复性更好; 在DBT曝光模式时断层第一张投影图和0°投影图的变异系数数值差异无统计学意义, 均显示设备的稳定性良好。

**[关键字]** 乳腺X线摄影; 信噪比; 变异系数; 质量控制

中图分类号: R737.9 文献标志码: A

DOI: 10.19401/j.cnki.1007-3639.2025.08.007

**基金项目:** 吴阶平医学基金会临床科研专项资助基金 (320.6750.2022-11-24)。

**利益冲突:** 作者声明无利益冲突。

**伦理批件:** 不需要。

**知情同意:** 不需要。

**引用本文:** 沈茜刚, 柴青焕, 姜婷婷, 等. 基于模体的乳腺X线摄影质量控制中SNR变异系数的分析 [J]. 中国癌症杂志, 2025, 35(8): 784-791.

**Funding:** Wu Jieping Medical Foundation Clinical Research Special Fund (320.6750.2022-11-24).

**Conflicts of interest:** authors declare no conflicts of interest.

**Ethical approval:** not required.

**Informed consent:** not required.

**Cite this article:** SHEN X G, CHAI Q H, JIANG T T, et al. Analysis of variation coefficient of SNR in phantom-based mammography quality control [J]. Chin Oncol, 2025, 35(8): 784-791.

**Analysis of variation coefficient of SNR in phantom-based mammography quality control** SHEN Xigang, CHAI Qinghuan, JIANG Tingting, SHEN Yue, XIAO Qin, GU Yajia (Department of Radiology, Fudan University Shanghai Cancer Center; Department of Oncology, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200032, China)

Correspondence to: GU Yajia E-mail: cjr.guyajia@vip.163.com

**[Abstract]** **Background and purpose:** In the quality control of mammography, the signal-to-noise ratio (SNR) refers to the ratio of the useful signal intensity to the background noise in the image, which is one of the important indicators for measuring the quality of the image. The coefficient of variation (CoV) is a commonly used indicator to describe the consistency and repeatability of SNR. This study aimed to assess the stability and repeatability of mammographic device performance by analyzing the changes in SNR CoV in two-dimensional (2D) images and tomosynthesis images (referred to as Tomo images) under different exposure modes

using three mammographic devices from different manufacturers. **Methods:** A polymethylmethacrylate (PMMA) phantom designed for mammography quality control was used to perform automatic exposure detection at PMMA thicknesses ranging from 20-80 mm, with actual compression thickness equivalent to the average density of the breast compressed to 21-103 mm under full-field digital mammography (FFDM), low-dose mammography and digital breast tomosynthesis (DBT) exposure modes. The CoV of SNR in 2D images and tomosynthesis images was calculated for different mammographic devices under different exposure modes and compression thicknesses. **Results:** Between the compression thicknesses equivalent to the average density of the breast from 21 mm to 103 mm under FFDM, low-dose mammography, and DBT exposure modes, the differences in SNR CoV of 2D images under different exposure modes among mammographic devices 1, 2, and 3 were statistically significant only in the DBT exposure mode ( $P=0.003$ ), with SNR CoV ranging from 0.188% to 0.720%, 0.368% to 1.073% and 0.402% to 1.662%, respectively. There were no statistically significant differences in SNR CoV of 2D images among devices 1, 2, and 3 under FFDM and low-dose exposure modes ( $P=0.060$ ). Under the DBT exposure mode, there were no statistically significant differences in the SNR CoV of the first projection image and the  $0^\circ$  projection image of tomosynthesis among devices 1 (2 angles), 2, and 3 ( $P=0.373$ ,  $P=0.742$ ,  $P=0.225$ ,  $P=0.693$ , respectively). **Conclusion:** The SNR CoV in 2D images and tomosynthesis images varies under different mammographic devices and exposure modes, with no fixed or standard values, but all within the required range for mammographic device quality control. The stability and repeatability of 2D images of mammographic devices are better under FFDM and low-dose exposure modes; the SNR CoV values of the first projection image and the  $0^\circ$  projection image of tomosynthesis under the DBT exposure mode show no statistical differences, indicating good stability of the devices.

[ **Key words** ] Mammography; Signal-to-noise ratio; Coefficient of variation; Quality control

乳腺癌严重威胁女性健康，其发病率仅次于肺癌居中国女性恶性肿瘤的第二位<sup>[1]</sup>。乳腺癌筛查是降低乳腺癌死亡率最有效的手段<sup>[2]</sup>。乳腺癌的精准诊断是临床实现个体化治疗的关键。乳腺X线摄影是乳腺癌筛查和诊断中不可或缺的重要手段，其在大规模筛查中被证实可显著降低乳腺癌死亡率，是目前临床上最常用的乳腺癌筛查和诊断方法之一，而高质量的图像是实现乳腺病变正确诊断的前提和保障。为了评价图像质量，需要对乳腺X线摄影设备定期进行质量控制测试。信噪比（signal-to-noise ratio, SNR）是指图像中有用的信号强度与背景噪声的比值，是衡量图像质量优劣的重要指标之一。SNR越大说明信号中携带的噪声信号越小，从而对信号传输的影响越小，图像质量越好；反之图像质量越差。在设备质量控制测试中，SNR的变异系数（coefficient of variation, CoV）是衡量系统在连续多次曝光中产生的图像SNR稳定性的参数，反映设备在不同曝光条件下其性能的稳定性和重复性。SNR的CoV能够从设备性能、曝光模式、图像质量一致性等多个方面为质量控制提供科学依据，从而优化成像流程，提高诊断准确率，同时降低患者的辐射剂量。当前对乳腺X线摄影质量控制中SNR的CoV的研究，主要是应用相关质量控制指标对乳腺X线摄影的图像质量进行评估<sup>[3-4]</sup>，国内在此方面的报道较少。本研究通过对SNR的CoV的系统分析，了解不同乳腺X线摄影设备在不同曝光条件下SNR的CoV的变化情况，旨在为评估设备性能的稳定性和重复性情况

提供理论依据。

## 1 资料和方法

### 1.1 研究对象

将乳腺X线摄影质量控制专用的聚甲基丙烯酸甲酯（polymethylmethacrylate phantom, PMMA）模体应用于3台不同厂家的乳腺X线摄影设备上，分别在全数字化乳腺X线摄影（full-field digital mammography, FFDM）、低剂量乳腺X线摄影和数字乳腺断层摄影（digital breast tomosynthesis, DBT）3种曝光模式下行20~80 mm不同厚度模体的曝光检测。PMMA模体是一种由聚甲基丙烯酸甲酯制成的仿体，常用于医学影像学中的质量控制。它的主要特点是具有与人体组织相似的透射率和散射特性，能够模拟人体组织在X线照射下的反应。模体可以完全覆盖数字平板探测器的成像区域，有多种厚度规格。在乳腺X线摄影相关的国内外行业标准和指南中，均使用PMMA模体作为性能评估的重要模体<sup>[5-6]</sup>。PMMA模体用于模拟标准乳房吸收情况，其尺寸可以是不小于150 mm×100 mm的矩形，或者是半径不小于100 mm的半圆形。该标准测试块可用于检查自动曝光控制（automatic exposure control, AEC）的性能，或评估平均腺体剂量（average glandular dose, AGD）值。

### 1.2 模体放置和操作标准

首先校准乳腺X线摄影设备的压迫厚度，确保每台设备的实际压迫厚度与显示的压迫厚度误差 $\leq 2$  mm，不同乳腺X线摄影设备之间的压迫

厚度误差也 $\leq 2$  mm。建议在实施此项研究之前先对相应的乳腺X线摄影设备进行压迫厚度精准检测,若有误差先进行校准,以保证压迫厚度显示的准确性及不同乳腺X线摄影设备之间的一致性。AEC是乳腺X线机的一种运行模式。在这种模式下,乳腺X线机的曝光参数由AEC进行自动控制,无需医师手动设置各类曝光参数,操作的可重复性好。

分别在FFDM、低剂量乳腺X线摄影和DBT曝光模式下进行二维图像和X线断层摄影(tomography, Tomo)图像(简称断层图像)的SNR相关检测,使用PMMA膜体,分10、20、40 mm共计3种厚度,放置厚度依次从20~80 mm,实际压迫厚度是等效于乳腺平均密度的压迫厚度21~103 mm,每种压迫厚度均需曝光4次,曝光前可将压迫板的功能设置为不自动解压迫。

SNR的测试和CoV的计算方法参照《欧洲乳腺癌筛查和诊断质量保证指南》<sup>[6]</sup>和《国际标准规范手册》<sup>[7]</sup>,注意采用均匀模体进行测试后,先做SNR检测,为了确定这个指标,需要选择一个感兴趣区域(region of interest, ROI),在本研究选取摄影平台中央距胸壁侧6 cm左右处位置作为ROI进行计算,要注意ROI内必须是均匀的,实际使用的模体及测量位置见图1(图内红框区为ROI)。具体操作如下:将标准测试模体平放在摄影平台上;使用AEC模式并记录曝光设置;测量第1张图中ROI的像素灰度平均值和标准偏差。执行以上步骤4次,计算4个测量结果的平均值。计算SNR时,用每幅图像的ROI内像素灰度值的平均值表示信号,用每幅图像的ROI内像素灰度值的标准偏差表示噪声。计算CoV时,用四幅图像的4个SNR的标准偏差与其平均值的比值。CoV的计算公式为:

$$\text{CoV} = \frac{\sigma_{\text{SNR}}}{\mu_{\text{SNR}}}$$

采用PMMA模体检测SNR进行曝光时,PMMA模体的放置厚度和等效于乳腺平均密度的压迫厚度相对应的数值见表1<sup>[7]</sup>。

### 1.3 乳腺X线摄影检查设备

乳腺X线摄影检查分别采用Hologic Dimensions、SIEMENS Revelation、联影UIHuMammo 890i(为方便统计分析,随机记为设备1、设备2和设备3),行FFDM、低剂量乳腺X线摄影和DBT不同模式、不同压迫厚度的曝光。DBT曝光时球管旋转角度分别为 $\pm 25^\circ$ 、 $\pm 7.5^\circ$ 和 $\pm 20^\circ$ 。

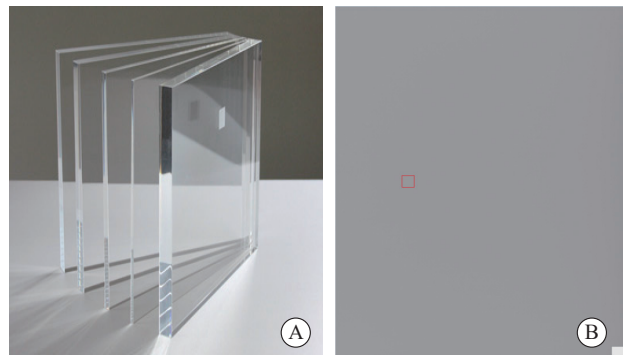


图1 SNR的检测模体及测量ROI的位置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the detection phantom for SNR and the position of the measurement ROI

A: Represented the signal-to-noise ratio detection module; B: The red box represented the ROI area used for calculation, and the left side of the red box was close to the chest wall side.

表1 PMMA的厚度和等效于乳腺平均密度的压迫厚度相对应的数值表

Tab. 1 PMMA thickness and Equivalent breast thickness

PMMA thickness/mm	Equivalent breast thickness/mm
20	21
30	32
40	45
50	60
60	75
70	90
80	103

### 1.4 分析数据的选择

选择3台乳腺X线摄影设备上的原始数据和处理前、后数据进行分析,分别选用FFDM和低剂量乳腺X线摄影曝光模式下的原始数据即处理前的图像数据。DBT曝光模式下选择曝光最初的第一张投影图像,也就是投照角度最大的图像和球管角度为 $0^\circ$ 时的投影图像进行数据分析,主要用于反映设备系统的性能<sup>[6]</sup>。

### 1.5 统计学处理

运用团队自主研发的MATLAB 2022b数据处理软件编写所需程序,将所有图像原始数据导入该程序,软件会根据要求自动进行数据处理。该MATLAB程序可以批量在不同型号系统所产生的多种成像模式图像的相同位置选取ROI区域,读取对应ROI区域内像素的灰度值,并计算相应的均值、标准差等数据,再进一步基于上述数据计算每款型号系统的SNR、CNR。将FFDM、低剂量乳腺X线摄影和DBT不同模式下行等效平均密度乳腺的实际压迫厚度21~103 mm曝光,获

得的数据进行二维图像和断层图像的SNR的CoV的分析和计算。其中1台乳腺机因在压迫厚度103 mm时无法自动曝光而未能进行此压迫厚度的曝光。另外，对所有数据采用GraphPad Prism 10.1.0进行统计学分析，3组之间的比较首先进行正态性检验（Shapiro-Wilk检验）和方差齐性检验（Levene检验）。当数据满足正态分布且方差齐性时，采用单因素方差分析进行组间比较；若数据不符合正态分布或方差齐性假设，则采用Kruskal-Wallis *H*检验进行分析。前述总体比较之后，3组间的两两比较采用Tukey-Kramer方法控制总体 I 类错误膨胀。两组间比较采用*t*检验进行比较。采用双侧检验，*P*<0.05为差异有统计学意义。

## 2 结 果

### 2.1 不同乳腺X线摄影设备在FFDM、低剂量乳腺X线摄影和DBT曝光模式下二维图像SNR的CoV分析

在等效于乳腺平均密度的压迫厚度21~103 mm范围内，不同乳腺X线摄影设备在FFDM、低剂量乳腺X线摄影和DBT曝光模式下二维图像的SNR的CoV变化见表2。在FFDM曝光模式下，设备1、2、3二维图像SNR的CoV范围分别为：0.257%~0.807%、0.437%~1.279%和0.238%~1.001%，差异无统计学意义（*P*=0.370）。在低剂量乳腺X线摄影曝光模式下设备1、2、3二维图像的SNR的CoV分别为：0.274%~1.404%、0.555%~1.814%

和0.518%~1.192%，差异无统计学意义（*P*=0.060）。在DBT曝光模式下设备1、2、3二维图像的SNR的CoV分别为0.188%~0.720%、0.368%~1.073%和0.402%~1.662%，差异有统计学意义（*P*=0.003）。

上述差异主要存在于设备1、3，可能是曝光参数不同的原因导致，因为设备1本身的CoV值基数较小，导致与设备3的CoV差异在DBT曝光模式下进一步变大。设备和数据的纳入及排除标准流程图见图2。CoV的具体数值分布情况和统计结果见图3。

### 2.2 不同乳腺X线摄影设备在DBT曝光模式下断层第1张投影图和0°投影图SNR的CoV分析

在等效于乳腺平均密度的压迫厚度21~103 mm范围内，不同乳腺X线摄影设备在DBT曝光模式下断层第1张投影图和0°投影图SNR的CoV变化范围见表3，其中设备1小角度的CoV为0.422%~2.277%和0.432%~1.869%，差异无统计学意义（*P*=0.373）。设备1大角度的CoV为0.237%~1.814%和0.442%~1.474%，差异无统计学意义（*P*=0.742）。设备2的CoV为0.149%~1.187%和0.539%~1.010%，差异无统计学意义（*P*=0.225）。设备3的CoV为0.113%~1.329%和0.673%~1.298%，差异无统计学意义（*P*=0.693）。*P*值是不同乳腺X线摄影设备在DBT曝光模式下断层第1张投影图和0°投影图的SNR的CoV两两比较的结果。在DBT曝光模式下断层第1张投影图和0°投影图的CoV变化差异无统计学意义（*P*>0.05，图4）。

表2 3台乳腺X线摄影设备在3种曝光模式下二维图像SNR的CoV

Tab. 2 The CoV values of SNR for two dimensional images of three mammography devices under three exposure modes

Device		M1/%			M2/%			M3/%			P value		
Phantom thickness/mm	Equivalent breast thickness/mm	FFDM	Low-dose	Combo	FFDM	Low-dose	Combo	FFDM	Low-dose	Combo	<i>P</i> <sub>1</sub>	<i>P</i> <sub>2</sub>	<i>P</i> <sub>3</sub>
20	21	0.807	0.489	0.428	0.437	0.637	0.368	0.480	0.570	0.777			
30	32	0.538	0.431	0.471	0.656	1.814	1.073	0.238	1.192	0.942			
40	45	0.500	1.404	0.580	0.634	1.598	0.920	1.001	0.899	1.662			
50	60	0.552	0.764	0.188	0.606	0.905	0.844	0.325	0.518	0.884	0.370	0.003	0.060
60	75	0.257	0.792	0.720	1.279	1.298	1.010	0.570	1.183	0.886			
70	90	0.330	0.477	0.407	0.831	0.555	0.756	0.450	0.544	0.402			
80	103	0.768	0.274	0.562	0.437	1.577	1.024	-	0.620	-			

M1 represented device 1; M2 represented device 2; M3 represented device 3. *P*<sub>1</sub>, *P*<sub>2</sub>, *P*<sub>3</sub> respectively represent the overall *P* values when comparing different exposure modes of the same device.

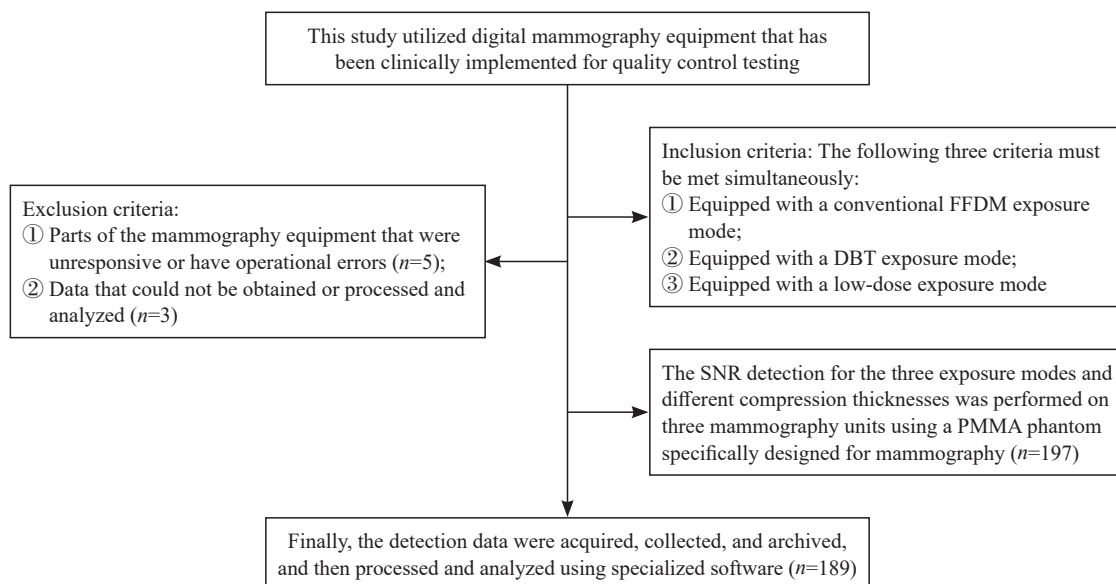


图2 设备和数据的纳入及排除标准流程图

Fig. 2 A flowchart for the inclusion and exclusion criteria of equipment and data

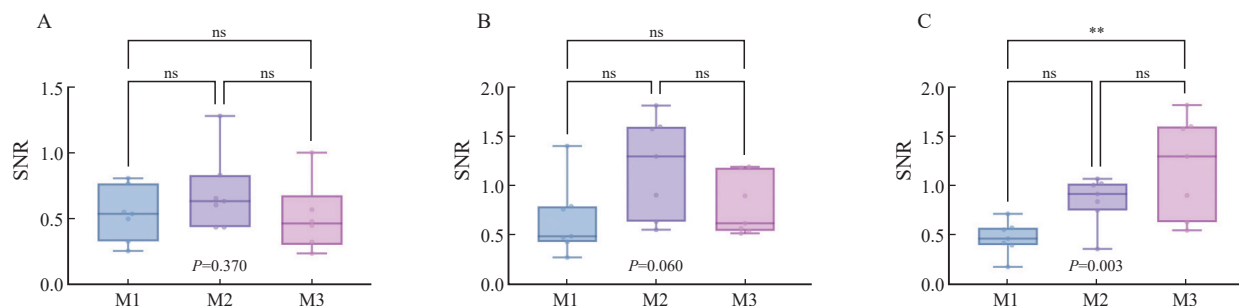


图3 3台乳腺X线摄影设备、3种曝光模式下二维图像SNR的CoV值统计结果

Fig. 3 The statistical results of CoV values for the SNR of two dimensional images under three mammography devices and three exposure modes were illustrated in the figure

A, B, and C represented the data distributions and statistical results of CoV values of SNR for three breast imaging devices under routine FFDM, low-dose mammography, and DBT exposure modes. ns: No significance; \*\*:  $P=0.003$ , M1 compared with M3.

表3 不同乳腺X线摄影设备在DBT曝光模式下断层第一张投影图和0°投影图SNR的CoV

Tab. 3 The CoV values of SNR for the first projection image and 0° projection image under DBT exposure mode of different mammography devices

Device		The CoV value of SNR for the first image of projection on different devices/%				The CoV values of SNR for the projection 0° position images from different devices/%				P value			
Phantom thickness/mm	Equivalent breast thickness/mm	M1-N	M1-W	M2	M3	M1-N	M1-W	M2	M3	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$
20	21	1.542	0.551	0.423	1.240	1.201	0.442	0.760	1.244				
30	32	0.422	0.237	0.414	0.893	1.047	0.545	0.559	1.298				
40	45	1.369	0.600	0.149	1.194	1.869	0.802	1.010	1.089				
50	60	1.043	0.677	0.370	0.935	0.958	0.563	0.604	1.108	0.373	0.742	0.225	0.693
60	75	2.277	1.814	0.206	1.329	1.338	1.474	0.539	0.799				
70	90	1.392	0.596	0.976	0.113	1.017	1.089	0.790	0.673				
80	103	1.553	0.513	1.187	-	0.432	0.630	0.936	-				

M1-N: The small angle of device 1; M1-W: The large angle of device 1; M2: Device 2; M3: Device 3.  $P_1, P_2, P_3$ , and  $P_4$  respectively represented the comparison results of different projection images of the same device.

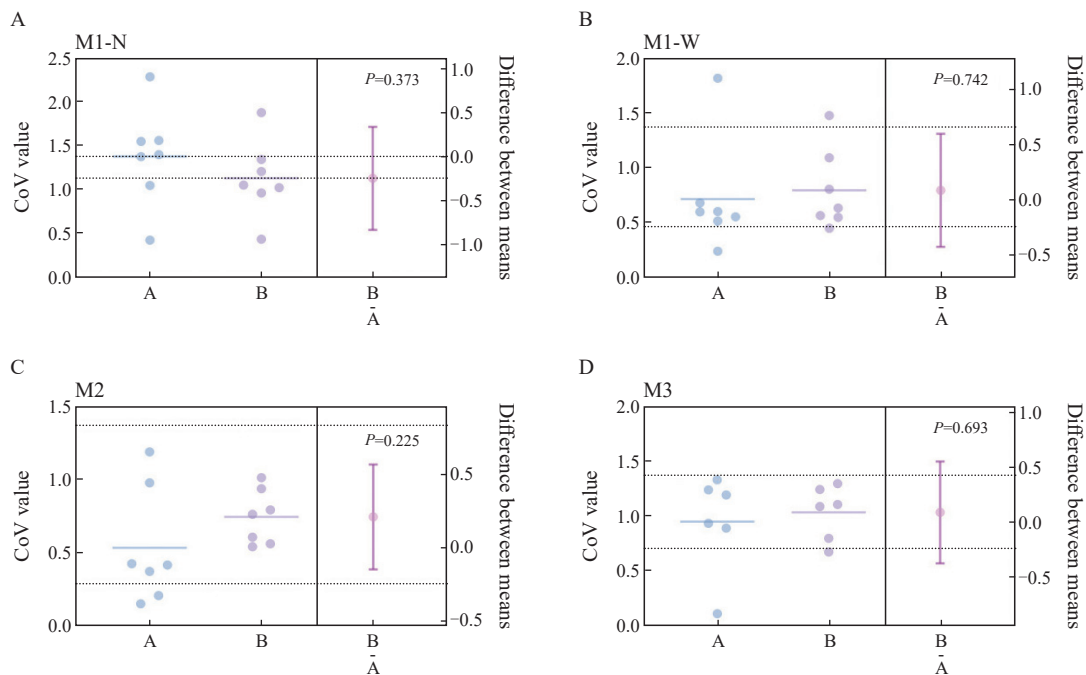


图4 不同乳腺X线摄影设备在DBT曝光模式下断层第一张投影图和0°投影图SNR的CoV值统计结果图示

Fig. 4 The statistical results of the CoV values of SNR for the first projection image and 0° projection image of three mammography devices in DBT exposure mode

A, B, C, and D represented the distributions and statistical results of CoV values of SNR for the first projection images and 0° projection images of DBT for device 1 at small angle, device 1 at large angle, device 2, and device 3, respectively.

### 3 讨 论

乳腺X线摄影检查的设备需要定期进行质量控制检测,在进行质控检测时,评估SNR是较常见的评价乳腺X线摄影图像质量的客观依据<sup>[8]</sup>。早期关于低剂量、高SNR相位对比乳腺X线摄影技术的研究<sup>[9]</sup>,强调提高乳腺X线摄影的图像质量,尤其是在降低辐射剂量的同时要保持或提高图像的SNR,说明了乳腺X线摄影质量控制中SNR指标的客观性和重要性。与本研究观点一致,本研究更深入、更详尽地对SNR中的CoV进行了分析。CoV是衡量图像一致性的指标,它是标准差与平均值的比率;即在一定条件下同一样本的不同测量值之间的变异程度。在乳腺X线摄影质量控制中,CoV用于评估不同时间点或不同设备获取的图像之间的一致性。CoV值越低,表示测量结果的一致性越好,质量控制过程越稳定;低CoV表明成像过程稳定且可重复,这对于确保乳腺筛查和诊断的一致性至关重要。如果SNR的CoV超出了预设的控制限值,需要进一步调查原因,比如检查设备是否需要维护或校准,或是检查操作流程是否需要改进等。本研究采集不同乳腺X线摄影设备的具体数据进行分析 and 比较,量化检测指标,有利于质控检测的反复操作和分析比较,为设备性能的评估提供了明确的理

论依据。目前乳腺X线摄影质量控制中对SNR的CoV方面的探讨和报道较少。因此,本研究通过运用乳腺专用PMMA模体对不同乳腺X线摄影设备在不同曝光模式下SNR的CoV进行系统、客观地分析,为乳腺X线摄影质量控制检测中了解设备性能稳定性和重复性参数(CoV)的变化提供依据。

SNR是指图像中有用的信号强度与背景噪声的比值,是衡量图像质量优劣的重要指标之一,而入射光子数目的多少,决定了噪声的大小和辐射剂量的高低。有研究<sup>[10]</sup>显示,随着mAs的减小,图像噪声逐渐变大,SNR值降低并且AGD降低。两种靶/滤过的SNR在mAs降低10%时与AEC组数值接近,mAs降低20%~50%时呈下降趋势。而且Mo/Mo在AEC时的SNR比mAs降低10%时的SNR低,可能与探测器一致性的偏差有关(两者相差0.017%,在2%的正常偏差范围内)。本研究与之相似,均应用SNR来衡量图像质量和设备性能。

本研究结果显示,在DBT曝光模式下乳腺X线摄影设备1、2、3二维图像SNR的CoV差异有统计学意义( $P=0.003$ )。主要是设备1和设备3的CoV差异有统计学意义。可能是因为本身设备1在不同曝光模式时的CoV值均较小,造成和设备3的CoV差异变大;设备3在DBT曝光模式下的

mAs比FFDM曝光模式低, 对应的DBT曝光模式的CoV值高于FFDM曝光模式, 造成差值进一步变大。本研究结果表明, 不同乳腺X线摄影设备在不同曝光模式下, 二维图像的CoV变化范围各不相同, 并没有固定和标准的数值。在FFDM和低剂量乳腺X线摄影曝光模式时设备二维图像的稳定性、可重复性更好; 在DBT曝光模式时断层第1张投影图和0°投影图的CoV值差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 均显示设备的稳定性良好。本研究结果均符合乳腺X线摄影质量控制手册要求的CoV的测量标准即 $CoV<10\%$ <sup>[6-7]</sup>。乳腺X线摄影中SNR的CoV评估可确保X线设备在不同时间点产生的图像SNR保持一致。

康天良等<sup>[11]</sup>的研究在对设备稳定性进行验证时, 同样强调了CoV的重要性, 表明检测CoV在标准范围内是满足研究要求的前提条件, 与本研究的观点一致。也有研究<sup>[12]</sup>表明在研究影响图像质量和辐射剂量时除去设备因素, 认为主要原因是X线束能谱的组成。X线束能谱主要由管电压、靶和滤过材料决定<sup>[13-14]</sup>。上述研究结果显示, 随着管电压的升高, SNR呈缓慢下降趋势, 说明管电压的升高除了使ROI像素值升高外, 同时伴随着图像噪声的增加。本研究中评价的SNR相关因素与上述研究报道结果不同, 说明了影响SNR的因素是多方面的, 需要综合考量。

有研究者<sup>[15]</sup>对比高对比度模式、标准模式和低剂量模式3种曝光模式的曝光技术参数和AGD, 认为在保证图像质量的前提下, 可根据受检者腺体情况, 尽可能地选择最优化曝光组合, 以降低受检者的辐射剂量、重检率和召回率。本研究结果认为, 在FFDM和低剂量曝光模式时乳腺X线摄影设备二维图像的稳定性、可重复性好, 设备性能稳定、图像质量保证是进行任何研究的前提, 本研究为今后对乳腺X线摄影设备开展日常维护及研究工作提供了数据和参考。

本研究尚有不足之处, 如每种型号的乳腺X线摄影设备仅测试了1台设备在不同曝光模式下SNR的CoV, 对于单款型号, 样本量相对有限, 因此研究结果可能无法完全展示每款型号乳腺X线摄影设备的性能。另外, 本研究在设备型号的选择上可能存在选择偏倚, 进而对结果产生影响; 本研究未能完全控制所有可能影响SNR的CoV因素(如设备维护状态、设备使用时长等), 可能引入混杂因素。后续研究不仅要扩大乳腺X线摄影设备的覆盖范围, 更要探索其他影响图像质量的因素, 如CNR、空间分辨率、

kVp等。

总之, 本研究结果为乳腺X线摄影质量控制的实践提供了具体的量化指标, 为乳腺X线摄影设备的选择和使用提供了可供参考的理论数据。

#### 第一作者:

沈茜刚 (ORCID: 0000-0001-6460-3474), 硕士, 副主任技师。

#### 通信作者:

顾雅佳 (ORCID: 0000-0002-6130-859X), 博士, 主任医师, 复旦大学附属肿瘤医院放射诊断科主任, E-mail: cjr.guyajia@vip.163.com。

#### 作者贡献声明:

沈茜刚: 文献检索与整理, 完成该研究, 撰写并修改文章; 柴青焕: 文献检索; 完成部分研究分析和数据收集; 姜婷婷: 参与该研究, 修改文章; 沈悦: 完成部分研究操作和数据收集; 肖勤: 参与该研究, 修改文章; 顾雅佳: 提出研究方向, 指导该研究, 审核并修改文章。

#### [参 考 文 献]

- [1] 郑荣寿, 陈 茹, 韩冰峰, 等. 2022年中国恶性肿瘤流行情况分析 [J]. 中华肿瘤杂志, 2024, 46(3): 221-231.  
ZHENG R S, CHEN R, HAN B F, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2022 [J]. Chin J Oncol, 2024, 46(3): 221-231.
- [2] HELVIE M A, BEVERS T B. Screening mammography for average-risk women: the controversy and NCCN's position [J]. J Natl Compr Canc Netw, 2018, 16(11): 1398-1404.
- [3] ALAWAJI Z, TAVAKOLI TABA S, RAE W. Automated image quality assessment of mammography phantoms: a systematic review [J]. Acta Radiol, 2023, 64(3): 971-986.
- [4] MORRISON C K, MACDONALD E B, BEVINS N B. Variations in signal-to-noise characteristics of tissue-equivalent attenuators for mammographic automatic exposure control system performance evaluation [J]. J Appl Clin Med Phys, 2023, 24(2): e13870.
- [5] 中华人民共和国医药行业标准《乳腺X射线机专用技术条件》[EB/OL]. 2017. <https://www.lmti.cn/lmti/xwdt/tzgg/2025022114543661364/2025022114531287865.pdf>.
- [6] European Union. European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis, Fourth edition-Supplements. [EB/OL] 2013. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4e74ee9b-df80-4c91-a5fb-85efb0fdda2b#>.
- [7] International Standard Norme Internationale. Evaluation and routine testing in medical imaging departments-Part 3-6: Acceptance and constancy tests-Imaging performance of mammographic X-ray equipment used in a mammographic tomosynthesis mode of operation [EB/OL]. IEC 61223-3-6, Edition 1.0 2020-02: 21. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/100363/8a81efd2bc784897a0858244d7ad6f6e/IEC-61223-3-6-2020.pdf>.
- [8] MANGUSSI A D, PIANOSCHI T A, CECCHETTO B, et al.

- AQMI: software for assessing the quality of mammographic images [J]. Braz J Rad Sci, 2023, 11(3): 1–16.
- [ 9 ] GROMANN L B, BEQUÉ D, SCHERER K, et al. Low-dose, phase-contrast mammography with high signal-to-noise ratio [J]. Biomed Opt Express, 2016, 7(2): 381–391.
- [ 10 ] 张原生, 王晓成, 郭子泉, 等. 数字乳腺X射线摄影中管电流优化的实验研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2022(2): 144–149.
- ZHANG Y S, WANG X C, GUO Z Q, et al. Experimental study on optimization of mAs in digital mammography [J]. Chin J Radiol Med Prot, 2022(2): 144–149.
- [ 11 ] 康天良, 牛延涛, 刘云福, 等. 数字乳腺X线摄影中采用影像噪声特征评价图像质量的研究 [J]. 中华放射学杂志, 2012, 46(10): 932–936.
- KANG T L, NIU Y T, LIU Y F, et al. Research of using image noise characteristic to evaluation image quality in digital mammography [J]. Chin J Radiol, 2012, 46(10): 932–936.
- [ 12 ] 赵红兰, 马红, 路欣, 等. 不同管电压对乳腺数字X线摄影辐射剂量和图像质量的影响 [J]. 中华放射学杂志, 2013, 47(10): 921–925.
- ZHAO H L, MA H, LU X, et al. Influences of different tube voltages on the dose and image quality of a full field digital mammography [J]. Chin J Radiol, 2013, 47(10): 921–925.
- [ 13 ] WILLIAMS M B, RAGHUNATHAN P, MORE M J, et al. Optimization of exposure parameters in full field digital mammography [J]. Med Phys, 2008, 35(6): 2414–2423.
- [ 14 ] CUNHA D M, TOMAL A, POLETTI M E. Optimization of X-ray spectra in digital mammography through Monte Carlo simulations [J]. Phys Med Biol, 2012, 57(7): 1919–1935.
- [ 15 ] 林袁碧, 徐维敏, 秦耿耿, 等. 乳腺X线不同曝光模式的图像质量对比 [J]. 分子影像学杂志, 2024, 47(3): 311–314.
- LIN Y B, XU W M, QIN G G, et al. Comparison of image quality in the different exposure modes of mammography [J]. J Mol Imag, 2024, 47(3): 311–314.
- (收稿日期: 2024-10-24 修回日期: 2025-03-19)  
(责任编辑: 王琳辉)

编者·作者·读者

## 《中国癌症杂志》2025年征订启事

《中国癌症杂志》1991年创刊,是由中华人民共和国教育部主管、复旦大学附属肿瘤医院主办的全国性肿瘤类学术期刊。名誉主编为汤钊猷、曹世龙、沈镇宙教授,主编为邵志敏教授。旨在传播肿瘤学领域前沿研究成果,注重肿瘤临床、基础、转化等最新研究成果,促进我国肿瘤领域研究成果的交流,提高肿瘤防治水平,服务健康中国战略。

《中国癌症杂志》为中文核心期刊(《中文核心期刊要目总览(2023年版)》收录)、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库(CSCD)收录期刊、“中国精品科技期刊顶尖学术论文(F5000)”项目来源期刊,并被国内多家大型数据库收录。国际上,《中国癌症杂志》目前被荷兰Scopus数据库及EMBASE数据库、DOAJ数据库、《化学文摘》(CA)、《乌利希期刊指南》(Ulrich's Periodical Directory)、EBSCO数据库、日本科学技术振兴机构数据库(JST)、波兰《哥白尼索引》以及《WHO西太平洋地区医学索引》(WPRIM)收录。

《中国癌症杂志》主要报道国内外肿瘤学领域前沿的研究内容,包括肿瘤的临床医学、基础医学、流行病学等。开设栏目包括专家述评与论著、论著、综述、论著选登、个案报道、指南与共识等。

《中国癌症杂志》为月刊,A4开本,80页,铜版纸(随文彩图),每月30日出版,单价30元,全年360元。国际标准连续出版物号(ISSN)1007-3639,国内统一连续出版物号(CN)31-1727/R,邮发代号4-575,读者可在当地邮政局订阅。

联系地址:上海市东安路270号复旦大学附属肿瘤医院10号楼415室。

邮编:200032

电话:021-64188274;021-64175590-83574

网址:www.china-oncology.com

E-mail:zgazz@china-oncology.com

《中国癌症杂志》编辑部