

Caracterização de sistemas de mamografia digital no domínio da frequência para diferentes condições de exposição

Characterization of digital mammography systems in the frequency domain for different exposure conditions

Alessandra M. M. M. Perez, Martin E. Poletti

*Física Aplicada à Medicina e Biologia, Departamento de Física/FFCLRP/USP, Ribeirão Preto, Brasil
Tese de Doutorado
2023*

Resumo

O forte avanço da mamografia digital no Brasil como ferramenta de rastreamento do câncer mamário requer que os novos sistemas digitais disponíveis sejam caracterizados. Os programas de garantia de qualidade de radiologia são projetados para garantir que certos níveis de qualidade de imagem sejam mantidos nos equipamentos de imagem. Medidas recentes introduzidas nos protocolos de mamografia digital indicam grandes variações nos parâmetros avaliados, apontando como principal fator os diversos detectores utilizados. Uma avaliação abrangente e quantitativa da resolução espacial de um sistema pode ser obtida a partir de sua função transferência de modulação (MTF). Medidas robustas de ruído podem ser feitas a partir do espectro de potência de ruído normalizado (NNPS) e eficiência quântica de detecção (DQE) como função da frequência espacial em vários níveis de exposição. O objetivo deste trabalho é caracterizar em termos de MTF, NNPS e DQE vários sistemas de mamografia, determinando suas características objetivas básicas de resolução e ruído em diferentes níveis de kerma no ar na superfície de entrada do detector (DAK). O detector CR Carestream EHR-M3, o sistema de biópsia Siemens Opdima, e os sistemas de mamografia digital de campo total Planmed Clarity, GE Essential, GE Pristina e GE Crystal Nova foram caracterizados. O desempenho básico dos sistemas testados foi avaliado em termos da função resposta, avaliação das componentes de ruído, MTF, NNPS e DQE usando protocolo de Diretrizes Europeias. As qualidades de feixe atenuadas (obtidas com filtração adicional de 2 mm Al) usadas foram 28 kV_P com combinação anodo/filtro Mo/Mo para EHR-M3, Opdima, Essential e Pristina; 28 kV_P com Mo/Rh para EHR-M3; 28 kV_P com W/Rh para o sistema Crystal Nova; 28 kV_P com W/Ag para o Clarity; e 34 kV_P Rh/Ag para o Pristina. Como esperado, o detector CR apresentou uma resposta logarítmica e os sistemas DR apresentaram resposta linear ($R^2 > 0.999$). O sistema Pristina apresentou maiores coeficientes angular e linear para o feixe de Rh/Ag. A avaliação de ruído mostrou que o EHR-M3 é limitado quanticamente até 650 μGy (Mo/Mo) e 380 μGy (Mo/Rh), enquanto o Opdima até 290 μGy . Para valores de DAK mais altos, o ruído estrutural é a fonte de ruído dominante. Para o sistema Opdima, o ruído estrutural está relacionado à presença de inhomogeneidades de baixa frequência nos dados, enquanto para detectores CR está relacionado ao tamanho dos grãos de fósforo. Os demais sistemas são quanticamente limitados no intervalo de DAK avaliado. Os sistemas avaliados apresentaram MTF razoavelmente isotrópica. MTF não apresentou dependência com a qualidade do feixe para os detectores EHR-M3 e Pristina. O sistema Clarity apresentou maiores valores de MTF, seguido pelos sistemas Opdima e Essential, Pristina, EHR-M3 e Crystal Nova. O NNPS aumentou com a diminuição do DAK. Para o sistema Pristina o NNPS diminuiu com o aumento da energia do feixe. O sistema Crystal Nova apresentou os menores valores de NNPS. A DQE aumentou, atingiu um máximo e depois decresceu com o aumento de DAK. O intervalo de DAK que maximiza a DQE foi dependente da composição do ruído de cada sistema. A DQE foi influenciada pela energia do feixe. O sistema Crystal Nova apresentou o melhor desempenho em termos de DQE para baixa frequência espacial. Os sistemas Opdima e Clarity exibiram maior DQE para frequências espaciais altas. A concordância com dados da literatura indica que os sistemas avaliados operam em condições típicas. Evidência de melhoria no desempenho dos detectores foi observada.

Palavras-chave: detectores digitais; curva de resposta; avaliação de ruído; MTF; NNPS; DQE.

Abstract

The strong advance of digital mammography in Brazil as a breast cancer screening tool requires that the new digital systems available be characterized. Radiology quality assurance programs are designed to ensure that certain levels of image quality are maintained in imaging equipment. Recent measurements introduced in digital mammography protocols indicate large variations in the evaluated parameters, pointing to the different detectors used as the main factor. A comprehensive and quantitative assessment

of the spatial resolution of a system can be obtained from its modulation transfer function (MTF). Robust measurements of noise can be made from normalized noise power spectrum (NNPS) and quantum detection efficiency (DQE) as a function of spatial frequency at various exposure levels. The objective of this work is to characterize in terms of MTF, NNPS and DQE several mammography systems, determining their basic objective characteristics of resolution and noise at different levels of air kerma at the detector input plane (DAK). The CR Carestream EHR-M3 detector, the small field digital mammography system Siemens Opdima, and full field digital mammography systems Planmed Clarity, GE Essential, GE Pristina and GE Crystal Nova were characterized. The basic performance of the tested systems was evaluated in terms of response function, evaluation of noise components, MTF, NNPS and DQE using European Guidelines protocol. The attenuated beam qualities (obtained with additional 2 mm Al filtration) used were 28 kV_P with Mo/Mo anode/filter combination for EHR-M3, Opdima, Essential and Pristina; 28 kV_P with Mo/Rh for EHR-M3; 28 kV_P with W/Rh for the system Crystal Nova; 28 kV_P with W/Ag for the Clarity; and 34 kV_P Rh/Ag for the Pristina. As expected, the CR system showed a logarithmic response, and the DR systems showed a linear response ($R^2 > 0.999$). The Pristina system showed higher slope and intercept for the Rh/Ag beam. Noise evaluation showed that EHR-M3 is quantum limited up to 650 μGy (Mo/Mo) and 380 μGy (Mo/Rh), while Opdima is quantum limited up to 300 μGy . For higher DAK values, structural noise is the dominant noise source. For the Opdima detector, structural noise is related to the presence of low frequency inhomogeneities in the data, while for CR detectors it is related to the size of the phosphor grains. The other systems are quantum limited in the evaluated DAK range. The evaluated systems presented reasonably isotropic MTF. MTF showed no dependence with beam quality for EHR-M3 and Pristina detectors. The Clarity system had the highest MTF values, followed by the Opdima and Essential, Pristina, EHR-M3 and Crystal Nova systems. NNPS increased with decreasing DAK. For the Pristina system, the NNPS decreased with increasing beam energy. The Crystal Nova system showed the lowest NNPS values. DQE increased, reached a maximum and then decreased with increasing DAK. The DAK range which maximizes DQE depended on system noise composition. DQE was influenced by beam energy. The Crystal Nova system showed the best performance in terms of DQE for low spatial frequency. Opdima and Clarity systems exhibited higher DQE for high spatial frequencies. Agreement with data from literature indicates that the systems evaluated are operating under typical conditions. Evidence of improvement in detectors performance was found.

Keywords: digital detectors; response curve; noise evaluation; MTF; NNPS; DQE.

URL: <https://doi.org/10.11606/T.59.2023.tde-15022024-091959>