

Método de avaliação da resolução espacial em sistemas digitais de mamografia através do uso da MTF.

Method of evaluation of spatial resolution in digital mammography systems through the use of MTF.

Michel F. F. Francisco¹, Danilo L. M. Souza¹, Regina B. Medeiros³,
Marcelo B. Freitas⁴, Silvio R. Pires².

¹Programa de Residência em Área Profissional de Física Médica da Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, Brasil

²Departamento de Informática em Saúde da Escola Paulista de Medicina - Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, Brasil

³Escola Paulista de Medicina - Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, Brasil

⁴Departamento de Biofísica da Escola Paulista de Medicina - Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, Brasil

Resumo

As imagens mamográficas devem possuir uma alta resolução espacial e de contraste para garantir a detecção de pequenas estruturas como as microcalcificações²⁻⁴. Dentro dos testes previstos²⁻⁹, no controle de qualidade em mamografia digital, está à função de transferência de modulação (MTF), que permite a avaliação quantitativa da resolução. O objetivo final do trabalho é sugerir uma avaliação de exatidão e repetibilidade da MTF, e incorporá-lo para análise e acompanhamento do desempenho dos equipamentos de mamografia digitais. Com isso, foi desenvolvido um simulador de mama com estruturas atenuantes capaz de mensurar a MTF, pelo método de diferenciação da função de dispersão de borda (*edge spread function – ESF*). Foi observado que podem existir alterações não previstas na resolução espacial, quando analisada em diferentes pontos de um mesmo plano que ocupe toda a região dos detectores. Após o equipamento passar pela manutenção corretiva (calibração dos detectores) e comparando com as leituras da MTF obtidas antes da manutenção, foi detectada uma menor variação de MTF no plano após calibração dos detectores efetuada pelo fabricante do equipamento. Através do teste T nos dados obtidos antes e depois da calibração verificamos que as leituras apresentam 98,5% de certeza que os valores são estatisticamente diferentes. Isso mostra o efeito que a calibração dos detectores possui sobre as leituras de MTF, ou seja, o efeito causado na resolução da imagem. Indicando que a metodologia proposta, junto aos testes de controle de qualidade, é mais eficiente na detecção de perdas de resolução.

Palavras-chave: mamografia digital; função de transferência de modulação; função de dispersão de borda; controle de qualidade; radiologia.

Abstract

Mammographic images must have a high spatial and contrast resolution to ensure the detection of small structures such as microcalcifications²⁻⁴. Within the predicted tests²⁻⁹, in quality control in digital mammography, is the function of modulation transfer (MTF), which allows the quantitative evaluation of the resolution. The ultimate goal of the work is to suggest an assessment of the accuracy and reproducibility of MTF, and incorporates it for analysis and monitoring of the performance of digital mammography equipment. With this, a breast simulator with attenuating structures capable of measuring the MTF was developed by the edge spread function method (ESF). It was observed that there may be unpredicted changes in spatial resolution, when analyzed at different points of the same plane that occupy the entire region of the detectors. After the equipment undergoes corrective maintenance (calibration of the detectors) and comparing with the readings of the MTF obtained before the maintenance, a lower MTF variation in the plane was detected after calibration of the detectors made by the equipment manufacturer. By means of the T test on the data obtained before and after calibration we found that the readings show 98.5% certainty that the values are statistically different. This shows the effect that the calibration of the detectors has on the MTF readings, that is, the effect caused by the resolution of the image. Indicating that the proposed methodology, together with the quality control tests, is more efficient in detecting resolution losses.

Keywords: digital mammography; modulation transfer function; edge spread function; quality control; radiology.

1. Introdução

Segundo o Instituto Nacional do Câncer (Inca), o Brasil deve ter 1,2 milhão de novos casos de câncer até 2019 e estimam-se 59.700 casos novos de câncer

de mama, para cada ano do biênio 2018-2019 (divulgado no dia 02/02/2018)¹.

Diante dos altos índices supracitados, pode-se dizer que a mamografia tem um papel fundamental no diagnóstico precoce e rastreamento do câncer de

mama. Assim, considerando a obtenção da máxima eficiência do diagnóstico, entende-se que as imagens radiológicas devem possuir uma alta qualidade. Desde a detecção, transdução do sinal gerado e processamento da imagem, garantindo uma adequada detecção de estruturas não rastreáveis no palpar clínico²⁻⁴. Uma das alterações teciduais a serem investigadas são as microcalcificações, que são estruturas muito pequenas – na ordem de micrômetros. Desse modo, as imagens radiológicas devem possuir uma alta resolução espacial para garantir a detecção de seu número e sua forma².

Entre os testes previstos no controle de qualidade (CQ) em mamografia digital, está a MTF, que indica o declínio da resolução do detector com frequência espacial, permitindo a avaliação quantitativa, assegurando assim, a detectabilidade de pequenas estruturas patológicas da mama⁸. Este é um método que permite uma melhor avaliação da resolução por não contar com a subjetividade da avaliação visual de um padrão de barras⁸⁻¹⁰.

A MTF é a transformada de Fourier da função de espalhamento, ou seja, a transformada de um objeto e representa a real distorção que um sistema de imagem causa sobre o objeto a partir do contraste da imagem de suas componentes espaciais, expresso em termos de frequências espaciais^{9,10}.

Um dos métodos de leitura da MTF de um sistema de imagem, no qual foi utilizado neste trabalho, é o método de Função de Propagação de Borda (*edge spread function* – *ESF*)¹⁰, mais conhecido como, método de borda, onde se utiliza um objeto atenuante com borda definida, ligeiramente inclinada em relação ao conjunto de detectores, então projetado pelo sistema de imagem. Sabe-se que a MTF tem dependência com o efeito *heel* (efeito calcanhar - efeito anódico), porém de acordo com a publicação da IAEA², explica que sistemas de tela plana (*flat panel*) possuem um sistema de correção para efeitos estacionários nas imagens “para processamento”, como a não uniformidades do ganho do detector e não uniformidades do feixe (filtro, efeito *heel*). O objetivo do trabalho foi desenvolver um método que permita avaliar em diferentes posições em um simulador de mama a MTF pelo método ESF. Por fim, sugerir que a avaliação da exatidão e repetibilidade da MTF, seja incorporada para análise e acompanhamento do desempenho dos equipamentos de mamografia digitais.

2. Materiais e Métodos

Foi usado um simulador de mama com espessura de aproximadamente 4,5 cm de polimetil-metacrilato (PMMA), composto por placas de aproximadamente 2 mm cada, possibilitando posicionamento do dispositivo em diferentes profundidades. Neste simulador foram anexadas lâminas de cobre (99,98% de pureza) para leitura da MTF pelo método ESF, com 0,5 cm de largura e 75 μ m de espessura. As lâminas se encontravam em cinco posições diferentes (região torácica - T, centro - C, região do mamilo - M e região lateral esquerda – LE e região lateral direita - LD), com inclinação de aproximadamente 3°, como mostra a figura 1.

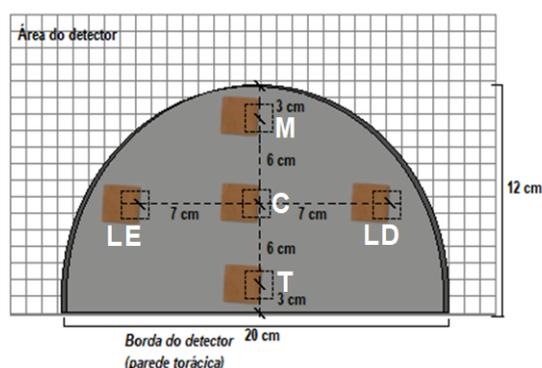


Figura 1. Proposta dos pontos para análise da MTF.

As imagens foram realizadas em um mamógrafo do *General Electric (GE) - Senographe DS* sediadas em um hospital universitário de grande porte da cidade de São Paulo.

Antes da realização das imagens e coleta de dados, foram realizados testes de CQ no mamógrafo seguindo orientações de protocolos nacionais⁵⁻⁶, para conhecimento das condições do equipamento.

Profissionais do serviço de radiologia reclamavam da qualidade da imagem mamográfica, mesmo após da realização dos testes de CQ, onde confirmavam o adequado funcionamento. Portanto, iniciamos uma análise mais detalhada do teste de MTF (proposta do trabalho), a fim de encontrar uma solução para o problema apresentado. Após as primeiras imagens suspeitamos que os detectores estivessem descalibrados. Todavia, foram coletadas as medidas em duas etapas - anteriormente e posteriormente à calibração do fabricante.

Todas as imagens foram adquiridas no modo de exposição automático (29 kVp, 54 mAs e alvo/filtro de Rh/Rh). Somente as imagens “para processamento” foram utilizadas para a obtenção das leituras da MTF, por meio do método ESF pelo *software ImageJ*, utilizando o *plugin Slanted Edge MTF (SE MTF - 2xNyquist)* disponível no link: <https://imagej.nih.gov/ij/plugins/se-mtf/index.html>.

2.1. Primeira etapa (imagens adquiridas antes da calibração dos detectores pelo fabricante)

Foram adquiridas as leituras da MTF ao longo do detector, nos cinco pontos propostos descritos na figura 1. O dispositivo de MTF se encontrava a uma altura de 2,2 cm em relação à bandeja de compressão entre as placas do simulador de mama.

2.2. Segunda etapa (imagens adquiridas depois da calibração dos detectores pelo fabricante)

Nesta etapa o mamógrafo já tinha passado pela calibração dos detectores pelo fabricante, então uma nova tomada de dados foi realizada. Imagens adquiridas com as mesmas características da primeira etapa.

2.3. Terceira etapa (análise comparativa dos dados anteriores e posteriores a calibração)

Foram analisadas as leituras de MTF, e comparadas com os valores anteriores e posteriores a calibração dos detectores pelo fabricante. Diante do exposto, identificar as possíveis variações da

resolução espacial em relação ao valor referencia², se os valores obtidos estão possuindo exatidão e se estão reproduzíveis em toda a área do detector que seria ocupada por uma mama grande.

3. Resultados

3.1. Primeira etapa (imagens adquiridas antes da calibração dos detectores pelo fabricante)

A figura 2 mostra as curvas de dados adquiridas nas posições LE, C e LD do simulador de mama. Comparando as leituras nestas três posições, observa-se um desvio médio de 13,1% em 50% da MTF e um desvio médio de 13,1% em 20% da MTF. Ainda nesta figura, visualizam-se as curvas de dados adquiridas nas posições M, C e T. Comparando as leituras nestas três posições, nota-se um desvio médio de 16,7% em 50% da MTF e um desvio médio de 22,2% em 20% da MTF.

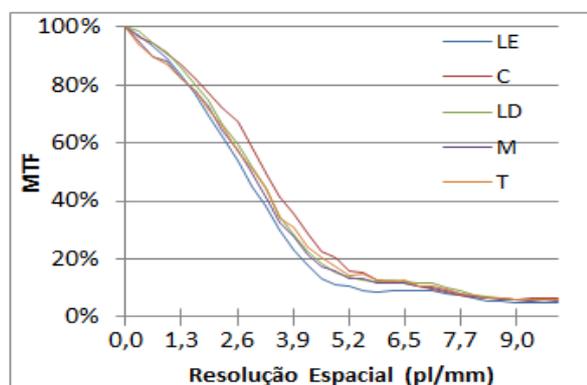


Figura 2. Leituras da MTF em diferentes posições látero-lateral no simulador (antes da calibração dos detectores do mamógrafo)

Em análise dos valores obtidos da MTF antes da calibração nos diversos pontos proposto pelo presente trabalho e no ponto único de leitura recomendado por protocolos internacionais²⁻⁴, comparando com o valor de referência de resolução para este equipamento: 3,5 pl/mm², encontramos uma diferença em relação ao valor de referência de 16% para as leituras proposta e 8% para a leitura recomendada. O método proposto apresenta uma variação maior com relação ao valor de referência, mostrando que esta variação pode ser subestimada quando é analisada somente em um ponto.

3.2. Segunda etapa (imagens adquiridas depois da calibração dos detectores pelo fabricante)

A Figura 3 mostra as curvas de dados adquiridas nas posições LE, C e LD. Comparando as leituras nestas três posições, observa-se um desvio médio de 1,8% em 50% da MTF e um desvio médio de 6,4% em 20% da MTF. Ainda na figura 7, nas curvas de dados nas posições M, C, T. Comparando as leituras nestas três posições, notam-se um desvio médio de 0,7% em 50% da MTF e um desvio médio de 5,6% em 20% da MTF.

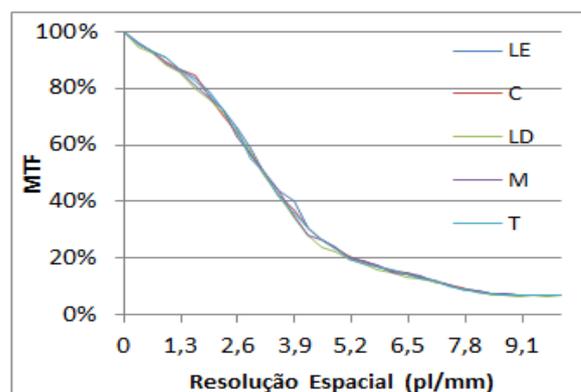


Figura 3. Leituras da MTF em diferentes posições látero-lateral no simulador (depois da calibração dos detectores do mamógrafo)

3.3. Terceira etapa (análise comparativa dos dados anteriores e posteriores a calibração)

Na tabela 1, temos os valores obtidos a 50% da MTF, nos pontos de medida antes e depois da calibração dos detectores pelo fabricante, com seus respectivos valores de exatidão e repetibilidade. Mostrando que após a calibração, houve percentuais de exatidão constantes em todos os pontos e conseguinte uma melhor repetibilidade.

Tabela 1. Leitura dos pontos a 50% da MTF, antes e depois da calibração dos detectores.

Local de Leitura	Antes da Calibração		Depois da Calibração	
	Frequência espacial (pl/mm)	Exatidão (%)*	Frequência espacial (pl/mm)	Exatidão (%)*
M	2,72	-22,3%	3,21	-8,3%
C	3,22	-8,0%	3,20	-8,6%
T	2,97	-15,1%	3,19	-8,9%
LE	2,89	-17,4%	3,25	-7,1%
LD	2,96	-15,4%	3,23	-7,7%
Repetibilidade:		16,8%		1,9%

*Exatidão em relação ao valor de referência de 3,5 pl/mm²

Adotamos que a hipótese nula das medidas posterior e anterior da calibração, como iguais, e a hipótese alternativa a posterior maior que a anterior. O valor do teste T obtido é de 1,94 e para a situação de uma distribuição uni-caudal com 4 graus de liberdade representa uma probabilidade de 1,5% dos valores serem iguais, portanto refutamos a hipótese nula e estaticamente após a calibração fornece uma confiabilidade de 98,5% de certeza dos valores serem diferentes, ratificando o efeito causado nos detectores pela calibração e a possibilidade da detecção desse efeito pelo método proposto.

4. Discussão

Fazendo a análise da MTF em todo o espaço da região de detectores que seriam ocupados, observou-se a variação da resolução espacial de até 22%, como mostrado na figura 1. Analisando os testes de CQ realizado no mamógrafo, pode se verificar a conformidade de todos os testes de acordo com protocolos nacionais⁵⁻⁶. De acordo com a publicação da IAEA², ao suspeitar que a resolução espacial varie excessivamente de um lugar para o outro na imagem, a MTF deve ser medida em locais diferentes da imagem e essas comparadas, pois

podem indicar alguma irregularidade nos detectores. Havia a suspeita que os detectores de imagem estavam descalibrados, então, o equipamento passou pela manutenção corretiva (pelo fabricante). Após a calibração dos detectores, verificamos pouca variação na resolução, indicando que a leitura da MTF em diferentes posições, junto aos testes controles de qualidade, pôde indicar irregularidades nos detectores de imagem. Realizando o teste T nos dados obtidos antes e depois da calibração verificamos que as leituras apresentam 98,5% de certeza que os valores são estatisticamente diferentes. Isso mostra o efeito que a calibração dos detectores possui sobre as leituras de MTF, ou seja, o efeito causado na resolução da imagem.

A medida feita pelo método recomendado por normativas internacionais²⁻⁴ mostrou que estava percentualmente com a menor diferença do valor de referencia comparado ao método proposto. Isso mostra que este método pode estar subestimando esta variação. Na tabela 1, as medidas obtidas após a calibração estão com uma melhor repetibilidade e exatidão, mostrando uma melhor uniformidade da resolução espacial na área estudada do detector.

5. Conclusões

Os resultados demonstram que a avaliação da resolução pela MTF, recomendada em protocolos nacionais⁵⁻⁶ e internacionais²⁻⁴ pode ser complementada por uma verificação em diversos pontos do plano detector a fim de garantir confiabilidade da análise de seu desempenho.

Como proposta, sugerimos que as leituras da MTF, sejam realizadas de acordo com a figura 1. A imagem descreve regiões cruciais para identificação de uniformidade da resolução espacial em toda área dos detectores onde seria ocupada por uma mama grande. Para maior aprofundamento do estudo da resolução obtida pela MTF no sistema de imagem, os pontos de leituras podem ser posicionados em toda área do detector. Obtendo as curvas das diferentes regiões, seus os valores em 50% e 20% da MTF, a repetibilidade e exatidão devem ser $\leq 10\%$. Para o calculo da repetibilidade e exatidão da MTF em 20% e 50%, é necessário conhecer os valores nominais do equipamento.

Caso o equipamento não responda de acordo com o recomendado, um estudo deve ser feito junto ao CQ para verificação da viabilidade da realização de uma manutenção corretiva no sistema de imagem. Esses valores obtidos nas leituras podem ser usados para o acompanhamento do desempenho do equipamento.

Não existe na literatura e/ou referência que avalie a repetibilidade e exatidão da MTF em sistemas digitais, no entanto, adotamos a referência usual para análise de detectores digitais, descrita na literatura²⁻⁴, no qual o ruído deve ser menor que 10%, sendo ele diretamente ligado a resolução espacial³⁻⁵.

Diante do exposto, esse padrão de desempenho foi estabelecido prevendo a variação usual da resolução, pela a influência do ponto focal. Como também, a repetibilidade da MTF usando o método ESF para sistemas de mamografia digital de aproximadamente 2%¹¹.

Esta metodologia é específica para mamógrafos com sistema de radiologia digital (DR), para sistemas de radiologia computadorizada (CR) deve-se levar em conta na análise o efeito *heel* no calculo da variação da MTF.

A importância de verificar a MTF em vários pontos, além do centro, é de extrema importância, porque um detector descalibrado pode apresentar resultado satisfatório no ponto central com relação aos outros pontos (como o exemplo mostrado neste trabalho). Com isso, não obtendo imagens de diagnóstico adequadas.

Os resultados demonstram que a avaliação da MTF pelo método proposto, pode ser usada em situações práticas pela observação clínica e/ou nos testes de aceite.

Esta nova metodologia contribui no conjunto de testes de CQ, facilitará as tomadas de decisões nos laudos técnicos de desempenho do equipamento.

Referências

1. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA)/Ministério da Saúde (MS) - Estimativa | 2018 Incidência de Câncer no Brasil - Disponível em: <<http://www1.inca.gov.br/estimativa/2018/index.asp>> - Acesso: 02/02/2018
2. International Atomic Energy Agency. "Quality Assurance Programme for Digital Mammography." Vienna, 2011.
3. Sociedad Española de Física Médica, Sociedad Española de Protección Radiológica, Sociedad Española de Radiología Médica. Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico. Madrid: Senda Editorial, S.A., 2011.
4. American Association of Physicists in Medicine. "Acceptance Testing and Quality Control of Photostimulable Storage Phosphor Imaging Systems." 2006.
5. Ministério da Saúde. "Portaria SVS/MS nº453." Brasília, 1998.
6. Estado de Santa Catarina. Secretaria de Estado da Saúde. Resolução Normativa N° 002/DIVS/SES, de 18 de Maio de 2015, Errata – 20 de Outubro de 2015. Superintendência de Vigilância em saúde. Santa Catarina, 2015.
7. Carton, A.-K., Vandenbroucke D., Struye L., Maidment A.D.A., Kao Y.-H., Albert M., Bosmans H., Marchal G. Validation of MTF measurement for digital mammography quality control. Med Phys. 32: pp. 1684-1695, 2005.
8. T. L. Williams, The Optical Transfer Function of Imaging Systems, Institute of Physics Publ., Bristol, 1999.
9. M. L. Giger And K. Doi, "Investigation of basic imaging properties in digital radiography. 1. modulation transfer function," Med. Phys. 11, pp. 287-295, 1984.
10. Samei E, Performance of Digital Radiographic Detectors: Quantification and Assessment Methods.. Advances in Digital Radiography: RSNA Categorical Course in Diagnostic Radiology Physics, pp. 37-47, 2003.
11. MARSHALL, N.W., An examination of automatic exposure control regimes for two digital radiography systems. 2009.

Contato:

Michel Felipe Franco Francisco
Rua Napoleão de Barros, 715 - Vila Clementino, São Paulo-SP, 04024-002.
E-mail: michel3f@outlook.com